

Cilt: 1 • Sayı: 1 • Yıl: 2019
ISSN: 2667-7083

ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



**SIRNAK UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCES**

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

JOURNAL OF SCIENCES

Cilt: 1 Sayı 1 Yıl: 2019

Vol: 1 Number: 1 Year: 2019

ISSN: 2667-7083

Şırnak Üniversitesi Adına Sahibi

Prof. Dr. Mehmet Emin ERKAN

Editör | Editor in Chief

Doç. Dr. Derya YÜCEL (Ş.Ü. Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü)

Yardımcı Editör | Editorial Assistant

Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt YAVUZ, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa RÜSTEMOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Orkun Kantarcı

Yönetim Yeri | Head Office

Şırnak Üniversitesi Yayınları

Yeni Mahalle Cizre Caddesi

Mehmet Emin Acar Kampüsü 73000 ŞIRNAK

Tel : +90 486 216 82 41- web : www.sirnak.edu.tr - https://dergipark.org.tr/sufbd

Baskı | Printing

Baskı: Mardin Sesi Gazetecilik Matbaacılık Ltd. Şti.

Baskı Yeri ve Tarihi | Publication Place and Date

13 Mart Mh. Özel İdare Müd. Ark. Sürücü Apt. No 3/B- Mardin

Tel&Fax: +90 482 213 16 56-212 11 58 www.mardinsesi.com.tr

Haziran 2019

İçindekiler | Contents

Araştırma Makaleleri | Research Articles

- 1-15** Celal YÜCEL, Derya YÜCEL, Hatice YÜCEL, Aylin C. OLUK
Öz Suyu Alınmış Tatlı Sorgum Sapları ile Yapılan Silajların Bazı Kalite Özellikleri
Some Quality parameters of Silage Made with extracted Sorghum Stems
-
- 17-24** Yelderem AKHOUNDNEJAD, Şeyhmus BARAN, Özgür KARAKAŞ, Hüseyin MISIRDALI
Farklı Dozlardaki Gümüş Nanopartiküllerinin Taze Soğan (Allium Cepa) Üzerine Etkisi
Effect of Different Doses of Silver Nanoparticles on Fresh Onions (Allium Cepa)
-
- 25-39** Mehmet HASKUL
Thermal stresses in a cylindrically curved FGM beam
Silindirik Eğri Eksenli FDM Kirişte Isıl Gerilmeler
-
- 41-57** Erol AYZAZ, Fatih Onur HOCAOĞLU
Afyonkarahisar Bölgesinde Tesis Edilen Gerçek Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Gölge Analizi Yapılması
Shadow Analysis of a Real Solar Energy System in Afyonkarahisar Region
-
- 59-76** Bedrettin DORACAN, Tuncay KARAKURT
Tek Kristal Bileşiğin Teorik ve Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi
Investigation of Single Crystal Compound by Theoretical and Experimental Methods
-
- 77-95** Hale BAYKAL, Safiye Nur DİRİM
Santrifüj Destekli Dondurarak Konsantrasyon Yöntemi İle Farklı Yağ İçeriğindeki Sütlerin Konsantre Edilmesi
The Concentration of Milk with Different Fat Contents by Freeze Concentration Assisted by Centrifugation
-
- 97-106** Tuncay KARAKURT, Erbil AĞAR, Tenzile ALAGÖZ, Ceren CAN
Makrosiklik Bileşiğin Sentezi ve Spektroskopik Özelliklerinin İncelenmesi
Investigation of Single Crystal Compound by Theoretical and Experimental Methods
-
- 107-122** Cuneyt YAVUZ, Elcin KENTEL
Senario-Based Tsunami Hazard Assessment For Java (Sunda) Trench Using Monte Carlo Simulations
Monte Carlo Simülasyonu Kullanılarak Java (Sunda) Fay Hattı için Senaryo Bazlı Tsunami Tehlike Analizi

123-143

Ezgi GÜNEY, Serap KARAGÖL, Memnun DEMİR
SMSM'nin Bulanık Mantık ve YSA Tabanlı Vektör Kontrol Yöntemi ile
Karşılaştırmalı Gerçek Zamanlı Hız Kontrolü

144-148

Yayın ve Yazım İlkeleri



Değerli Okuyucular,

Şırnak Üniversitesi ailesi olarak 2010 yılında yayın hayatına başlayan İlahiyat Fakültesi Dergimizden sonra ikinci bilimsel dergimiz olan Fen ve Mühendislik Dergimiz ilk sayısı ile Haziran 2019'da yayın hayatına başlamış bulunmaktadır.

2008 yılında kurulmuş olan Üniversitemiz 6 Fakülte, 2 Enstitü, 2 Yüksek Okulu, 4 adet de Meslek Yüksek Okulu bünyesinde birçok bölüm ve program ile 2019-2020 Eğitim Öğretim dönemine devam etmektedir. Üniversitemiz, ülkemizin gereksinimlerini karşılayacak, uluslararası bilimsel kriterlere uygun yeni ve güncel programların açılması ile hem akademik ve hem de öğrenci sayısı olarak daha da büyük bir aile olma yolunda hızla ilerlemektedir.

Üniversite yönetimi olarak, tarafsız, objektif ve tamamen bilimsel kaliteyi artırmak olan hedef ve amaçlarımız doğrultusunda; bölgenin, ülkenin sorunlarını çözen, ülke ekonomisine katkı sağlayan yeni projeler üretmek, kaliteli bilimsel yayın sayısını artırmak ve çok farklı aktiviteler ile bölge-üniversite işbirliğini de artırarak, bölgenin en güçlü üniversitesi olma yolunda çalışmalarımızı sürdürmekteyiz.

Yapılan çalışmaların, ulusal ve uluslararası bilim dünyasına katkı sağlanması amacıyla bilimsel kalite standartlarına göre hazırlanması ve yayınlanması da çok önemli konuma gelmiş bulunmaktadır. Bu bağlamda, yapılan çalışmaların yayınlanmasına aracılık eden dergilerimizin sayısı ve yayın kalitesinin her geçen gün artması, bilim dünyası adına önemli ve olumlu gelişmeler olarak hepimizi sevindirmektedir. Bizler de Şırnak Üniversitesi olarak, değerli bilim camiasına, Türkçe ve İngilizce yayın kabul eden Fen ve Mühendislik dergimizin Haziran-2019 dönemine ait ilk sayısını, sizlerle paylaşarak bilim dünyasına kazandırmanın heyecanını ve gururunu hep birlikte yaşıyoruz.

Derginin yayın hayatına başlaması için yoğun çaba ve emekler harcayan başta dergi editörü ve yönetimine, dergimize yayın gönderen siz değerli bilim insanlarına, danışma, hakem ve değerlendirme kurullarına ve emeği geçen akademik ve idari personelimize şahsım ve üniversitemiz adına teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Prof. Dr. Mehmet Emin ERKAN

REKTÖR

Dear Readers,

As the family of Sırnak University, our second scientific journal, Sırnak University Journal of Science, has started its publication life in June 2019 with its first issue, after the Journal of Theology, which started its publication life in 2010.

Founded in 2008, our university continues academic activities with 6 departments, 2 institutes, 2 colleges and 4 vocational high schools in 2019-2020 academic year. With the opening of new and actual programs that meet the needs of our country and be an appropriate international scientific criterion, our university is rapidly advancing towards becoming a larger family both in academic and student numbers.

As the administration of Sırnak University; with our aims and objectives, which are purely objective and to focus on increasing scientific quality; we carry on our efforts to become the most powerful university in the region by taking into account the region-university cooperation with different activities, to increase the number of quality scientific publications and to produce new projects that solve the problems of the region and to contribute the national economy. It is also important to prepare and publish the scientific researches in accordance with scientific quality and standards with aim to contribute the national and international scientific world. In this context, increase in the number of our journals that mediate the publication of the studies and the quality of the publication can be important and positive developments on behalf of the scientific world will make us all happy. As Sırnak University, we are proud of the excitement and pride of bringing the first issue of Sırnak University Journal of Science, which accepts Turkish and English publications in June 2019 period.

I would like to thank on behalf of our university and personally the editor and administration of the journal, to valuable scientists who sent to our journal, to the advisory, referees and evaluation committees, to the academic and administrative staff who have made great efforts and to start the publication of the journal.

Prof. Dr. Mehmet Emin ERKAN
RECTOR



Editörden,

Sayın Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Okuyucuları,
Şırnak Üniversitesi olarak dergimizin Haziran 2019 dönemine ait ilk sayımızı sizlerle paylaşmaktan mutluluk duyuyoruz. Ülkemizde bilimsel yayıncılık hızla gelişmekte ve bu bağlamda süreli yayınların sayısı her geçen gün önemli oranda artmaktadır. Fen ve mühendislik alanlarındaki akademik süreli yayın sayısı da bununla paralel olarak artış göstermektedir. Haziran 2019’da ilk sayısıyla yayın hayatına başlayan dergimizle çok değerli araştırmacıların, bilim insanlarının ve okurların karşısına çıkmanın heyecanını ve mutluluğunu yaşamaktayız. Türkiye’de yayın yapan birçok üniversitenin akademik dergileri gibi, dergimiz de çok-disiplinli ve disiplinler arası anlayışla hareket etmektedir. Bu anlayışla dergimizin yayın kurulu, fen ve mühendislik bilimlerinin bütün disiplin ve alt disiplinlerden bilimsel nitelikli yazıları yayımlamak üzere kabul etmektedir. Makalelerin bilimsel kalitesi “yazarlık, editörlük, hakemlik ve baskı süreçlerinin doğru ve etkin bir biçimde yürütülmesi ve karşılıklı anlayış ve işbirliği ile mümkündür” gerçeği göz önünde tutularak, bir yayın politikası izlenmektedir. Bu bağlamda dergimiz, hakemlik sürecini titizlikle yürütmekte, kör hakemlik sistemiyle makaleler değerlendirilmekte, etik ve bilimsel ölçütlere sonuna kadar bağlı kalınmaya çalışılmaktadır. Dergimizin bu sayısında, altısı anadil (Türkçe) ve üçü de yabancı dil (İngilizce) olmak üzere toplam dokuz adet makale bulunmaktadır. Bilimsel çalışmalarını yayınlama motivasyonu ve sürdürme çabasıyla dergimize bilimsel araştırmalarını sunarak destek veren değerli bilim insanlarına, dergimize gelen bu yazıları inceleyen hakem kurulu üyelerimize, yayınlarımızı okuyarak bilimsel bilgi ve donanımını geliştirme çabası gösteren okurlarımıza ve dergimizin ilk sayısının yayınlanmasında yoğun bir emekle çalışan dergi ekibimize, bilimin yansımada bir zincirin halkaları olarak önemli sorumluluklar yerine getirdikleri inancıyla teşekkür ederim.

Ayrıca, Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri dergisinin yayın hayatına başlaması için her türlü çaba ve desteği sağlayan Şırnak Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. Mehmet Emin ERKAN’a ve Genel Sekreter Doç. Dr. İbrahim BAZ’a şahsım ve dergimiz yönetimi adına teşekkür ediyorum.

Bilimsel birikimlerimize katkı veren yeni çalışmalarınızı bizimle paylaşmanız beklentisi ile...

Saygılar sunarım,

Doç. Dr. Derya YÜCEL
Editör

From the Editor,

Dear Sirnak University Journal of Science Readers,

As Sirnak University, we are pleased to share with you our first issue belongs to June 2019 period of Sirnak University Journal of Science. In our country, scientific publishing is developing rapidly, and the number of periodical publications is increasing day by day. The number of academic periodical publications in the fields of science and engineering is also increasing accordingly. Our journal, which started its publication life in June 2019 with its first issue, we live together the excitement and happiness of meeting with valuable researchers, scientists and readers. As the journals of many universities published in Turkey, our journal is to act as a multi-disciplinary and inter-disciplinary approach. With this understanding, the editorial board of our journal accepts to publish scientific manuscripts from all disciplines and sub-disciplines of science and engineering. We believed that the scientific quality of the manuscript can be a publication policy pursued considering the fact that writing, editing, refereeing and printing processes are carried out correctly and effectively and with mutual understanding and cooperation. In this issue of our journal, there are nine manuscripts, six of which are written in Turkish and three out of nine are written in English. I would like to thank to the scientific researchers, for their motivation and continue to publish their articles in our journal, to the member of refereeing board who evaluated these manuscripts, to our readers who have tried to improve their scientific knowledge and accomplishment by reading our manuscripts, and to our journal team worked hard to publish the first issue of our journal, fulfilled important responsibilities as the links of a chain to reflect science.

Besides, I would like to thank personally on behalf of the administrative team of our journal to the Rector of Sirnak University Prof. Dr. Mehmet Emin ERKAN as well as Assoc. Prof. İbrahim BAZ for providing all kinds of efforts and support for beginning the publication of Sirnak University Journal of Science.

With the expectation that you will share with us your new research that contribute to our scientific knowledge...

Best Regards,

*Assoc. Prof. Derya YÜCEL
Editör*

Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi

Uluslararası Danışma Kurulu/International Advisory Board

Prof. Dr. Ismail M. Dweikat	Nebraska University	USA
Assoc. Prof. Gary Gao	Ohio State University,	USA
Assoc. Prof. Rafiq Islam	Ohio State University,	USA
Assoc. Prof. Abdulkerim Eroğlu	North Carolina State University	USA
Dr. Alaadin Hamwiev	ICARDA	
Assoc. Prof. Toufiq Iqbal	Rajshahi University	Bangladesh

Danışma Kurulu/Advisory Board

Prof. Dr. İbrahim Ortaş	Çukurova Üniversitesi	Adana
Prof. Dr. Mahmut Çetin	Çukurova Üniversitesi	Adana
Doç. Dr. Aysun Şener	A.Türkeş Bilim ve Teknoloji Üni.	Adana
Prof. Dr. Rüştü Hatipoğlu	Çukurova Üniversitesi	Adana
Prof. Dr. Serpil Tangolar	Çukurova Üniversitesi	Adana
Doç. Dr. Uğur Serbester	Çukurova Üniversitesi	Adana
Prof. Dr. Ahmet İnce	Çukurova Üniversitesi	Adana
Prof. Dr. Kadir Aydın	Çukurova Üniversitesi	Adana
Prof. Dr. Gülfeza Kardaş	Çukurova Üniversitesi	Adana
Prof. Dr. Elçin Kentel	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Ankara
Prof. Dr. Sinan Turan Erdoğan	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Ankara
Prof. Dr. Ali Gencer	Ankara Üniversitesi	Ankara
Prof. Dr. İbrahim Belenli	Abant İzzet Baysal Üniversitesi	Bolu
Doç. Dr. Gürcan Yıldırım	Abant İzzet Baysal Üniversitesi	Bolu

Prof. Dr. Abdullah Sessiz	Dicle Üniversitesi	Diyarbakır
Prof. Dr. Erol Bayhan	Dicle Üniversitesi	Diyarbakır
Dr. Öğr. Üyesi Ali Ersin Dinçer	Erzurum Teknik Üniversitesi	Erzurum
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Demir	Erzurum Teknik Üniversitesi	Erzurum
Prof. Dr. M. Emin Erkan	Şırnak Üniversitesi	Şırnak
Prof. Dr. Mehmet A. Tekinsoy	Şırnak Üniversitesi	Şırnak
Prof. Dr. Hüseyin Mısırdalı	Şırnak Üniversitesi	Şırnak
Prof. Dr. Mehmet Şimşek	Şırnak Üniversitesi	Şırnak
Prof. Dr. Seyyid Irmak	Şırnak Üniversitesi	Şırnak
Prof. Dr. Fikri Kahraman	Şırnak Üniversitesi	Şırnak
Prof. Dr. Celal Yücel	Şırnak Üniversitesi	Şırnak

Hakem Kurulu

Prof. Dr. Erbil AĞAR	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Dr. Dilan ALP	Şırnak Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa AVCI	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Dr. Erkan BAHÇE	İnönü Üniversitesi
Dr. Pınar ÇUBUKÇU	Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enst.
Dr. Tuğçe DEMİRDELEN	Adana Alparslan Türkeş Üniversitesi
Prof. Dr. Abdul Kadir EKŞİ	Çukurova Üniversitesi
Dr. Ufuk GÜLTEKİN	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Kağan KÖKTEN	Bingöl Üniversitesi
Doç. Dr. Şebnem KUŞVURAN	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Aylin OLUK	Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enst.
Dr. Ferhat ÖZTÜRK	Şırnak Üniversitesi
Dr. Nevzat SEVGİN	Şırnak Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK	Harran Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan TAHTACI	Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK	Dicle Üniversitesi
Dr. Cüneyt YAVUZ	Şırnak Üniversitesi
Prof. Dr. Celal YÜCEL	Şırnak Üniversitesi

**Öz Suyu Alınmış Tatlı Sorgum Sapları ile Yapılan
Silajların Bazı Kalite Özellikleri**
**Celal YÜCEL^{1*}, Derya YÜCEL¹, Hatice YÜCEL², Aylin C.
OLUK²**

¹⁾Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şırnak

²⁾Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana

Sorumlu Yazar: celalyucel1@gmail.com

Gönderme tarihi: 25/03/2019

Kabul tarihi: 03/05/2019

ÖZET

İyi kalitede yem üretimi ekonomik ruminant hayvan besleme için önemli bir faktördür. Ülkemizde hala kaliteli kaba yem açığı bulunmaktadır. Kaba yem açığını kapatmak için alternatif kaba yem kaynakları bulma arayışları devam etmektedir. Araştırma, endüstride etanol elde etmek için öz suyu alınmış olan tatlı sorgum saplarının (posa) silaj yapılarak kaba yem olarak değerlendirilme potansiyelinin ortaya konulması amacıyla yürütülmüştür. Değişik kaynaklardan temin edilen 21 adet farklı tatlı sorgum (*Sorghumbicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) genotipi materyal olarak kullanılmıştır. Tarla denemeleri, Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü deneme alanında 2016 yılında 2. ürün koşullarında, tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Araştırmada hasat, salkımdaki tanelerin süt-hamur olum dönemi arasındaki tarihte yapılmıştır. Bitkinin yaprak ve salkımları sıyırıldıktan sonra öz suyu alınan saplar silaj yapılarak yem kalite özellikleri saptanmıştır. Ayrıca önemli bazı mineral element değerleri de saptanmıştır. Genotiplere bağlı olarak silajların NDF oranının %50.44-71.84, ADF oranının %30.74-47.57, ham protein (HP) oranının %3.36-6.41, SKM oranının %51.84-64.96, kuru madde tüketimi (KMT) oranının %1.69-2.38, net enerji değerinin 1.221-1.459 Mcal/kg ve nispi yem değerinin (NYD)'nin 67.2-120.0 arasında değiştiğini göstermiştir. Sonuç olarak, Çukurova bölgesinde 2. ürün koşullarında öz suyu alınan saplar ile yapılan silajların kaba yem olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tatlı sorgum; posa; silaj; kalite

Some Quality parameters of Silage Made with extracted Sorghum Stems

ABSTRACT

Production of good quality fodder is of a great importance for the economical ruminant production. There is still quality roughage gap in our country. The

search for alternative feed sources to close the forage deficit is continuing. The research was carried out in order to reveal the potential of the sweet sorghum stems which were extracted in order to obtain ethanol in the industry. The experiment was conducted in south of Turkey at the Eastern Mediterranean Agricultural Research Institute during the second crop season in 2016 in randomized blocks design (RBD) with 4 replications. Harvest was performed between milk and soft dough stages. After the leaves and panicle of the plant were stripped, sap-extracted plants (bagasse) were ensiled and silage quality attributes were also determined. In addition, some important mineral element values were determined. Depending of genotypes, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) concentrations, digestible dry matter (DDM) ratio, crude protein (CP) ratio, dry matter intake (DMI), net energy (NEL) and relative feed value (RFV) were ranged from 50.44 to 71.84%, from 30.74 to 47.57%, from 3.36 to 6.41%, from 51.84 to 64.96%, from 1.69 to 2.38%, from 1.221 to 1.459 Mcal kg, and from 67.2 to 120.0, respectively. It is concluded that the silages made of extracted sweet sorghum stems which were grown the 2nd production conditions in Çukurova region can be considered as roughage.

Keywords: Sweet sorghum; bagasse; silage; quality

1. GİRİŞ

Tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.), Poaceae familyasına bağlı bir C4 bitkisi olması nedeniyle yüksek fotosentetik etkinliği olan bir buğdaygil bitkisidir (Dolciotti ve ark., 1998; Shinde ve ark., 2013). Sorgum kurak ve kötü iklim koşullarında yaşamını sürdürebilen önemli bir bitki türüdür (Ritter ve ark., 2007). Tatlı sorgum, yüksek biyomasa sahip, kurağa toleransı iyi, nispeten düşük girdi gereksinimleri ve değişik çevre koşullarında yetiştirme kabiliyetlerinden dolayı önemli bir enerji bitkisi olarak değerlendirilmektedir (Steduto ve ark., 1997; Mastroianni ve ark., 1999). Son yıllarda iklim değişikliği nedeniyle suyun önemli olduğu bu dönemde kurağa dayanıklı bitki türleri önemli konuma gelmiş durumdadır. Sorgum türlerinin abiyotik stres koşullarına mısıra göre daha toleranslı olmaları nedeniyle ileride muhtemel olumsuz çevre koşullarının oluşabileceği bölgelerde silajlık mısırın yerini alabilecek potansiyele sahiptir. Ayrıca tatlı sorgumun mısıra göre daha geniş adaptasyon alanına sahip olması, yani marjinal alanlarda tarımının yapılabilmesi yem üretimini artırarak kaba yem açığının kapatılmasına katkı sağlayacak bir tür olduğunu ortaya koymaktadır. Tatlı sorgum, sap özsuyunda yüksek oranda şeker içermesi nedeniyle, sanayi ham maddesi (şe-

ker, etanol, selüloz) olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, saplarda özsuyu alındıktan sonra geriye kalan küspe etanol (Jacques ve ark., 1999) ve hayvan beslemede (Jafarina ve ark., 2005) kullanılmaktadır. Fakat şu anda küspeden etanol üretiminin ekonomik olmayacağı (Drapcho ve ark., 2008), bundan dolayı yem amaçlı olarak kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Bitki özsuyu alınan tatlı sorgum sapsarı, silaj yapılarak yem maddesi olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda silaj amacıyla geliştirilmiş yeni sorgum çeşitlerinin daha uzun boylu, birim alandan daha fazla biyokütle oluşturmalarının yanı sıra, kalite bakımından da mısıra yakın veya eşdeğer kalitede oldukları bilinmektedir. Yemlik sorgumun kalite bakımından kompozisyonu olgunlaşma dönemi, çeşit, iklim, hasat koşulları ve diğer birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir. Hayvanların yaşamlarını sürdürebilmeleri ve istenilen çeşitli ürünleri sağlamaları için su, karbonhidratlar, protein, yağ, vitaminler, mineraller gibi besin maddelerine ihtiyaçları vardır. Hayvanlar bu besin madde gereksinimlerini yedikleri yemler ile içtikleri sudan sağlarlar. İyi bir hayvan besleme için yemlerin besin madde içeriklerinin, yararlılıklarının (sindirilebilirlikleri ve metabolize edilebilirlikleri) bilinmesi de önemlidir. Hayvanların 1 kg canlı ağırlık için 50 mg veya daha fazla gereksinim duyduğu minerallere makro mineraller veya elementler denildiği, kalsiyum (Ca) ve fosfor (P)'un yapısal elementler, Sodyum (Na), potasyum (K), magnezyum (mg) ve klor (Cl)'un hemostatik elementler olarak değerlendirildiği bildirilmektedir (Kutlu ve Çelik, 2016). Ülkemizde kaliteli kaba yem açığını kapatmak için alternatif kaba yem kaynakları bulma arayışları devam etmektedir. Araştırma, endüstride etanol elde etmek amacıyla öz suyu alınmış olan tatlı sorgum sapsarının (posa) silaj yapılarak kaba yem olarak değerlendirilme potansiyelinin ortaya konulması amacıyla yürütülmüştür.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Araştırmada yurtdışı ve yurtiçi değişik kaynaklardan temin edilen sorgum çeşit ve hatları, Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Araştırmada yer alan tatlı sorgumun materyal listesi

No	Adı	No	Adı	No	Adı
5	Cowley*	20	Ramada*	32	Tracy*
6	Dale*	23	Roma*	35	UNL-hybrid -3*
9	Grassi*	24	RoxOrange*	40	Williams*
14	M81-E*	26	Smith*	42	Bataem-1, no:2 USDA-Çin**
15	Mennonita*	28	SugarDrip*	44	Bataem-2 no91 USDA-Tayvan**
17	Nebraska sugarcane*	29	Theis*	45	Bataem-3 no5 USDA G. Africa**
19	P1579753*	31	Topper 76*	58	Gülşeker (Kontrol- yerel çeşit)***

Materyal, *) Nebraska Üniversitesi, ABD, **) Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü-Antalya ve ***) Uludağ Ün., Ziraat Fak. Tarla Bitkileri Bölümünden temin edilmiştir.

Deneme Yerinin İklim ve Toprak Özellikleri: Araştırmanın yürütüldüğü 2016 yılı Haziran ayında maksimum sıcaklık, diğer aylara göre daha yüksek gözlenmiştir. Bu ayda sıcaklık 41.5 °C'nin üzerine çıkmıştır. Denemenin yürütüldüğü döneme ait ortalama nispi nemin %72.8 ile 81.6 arasında değiştiği, yağışın ise Haziranda 15.2 mm ve Eylül ayında 26.6 mm olarak gerçekleştiği ve diğer aylarda yok denecek kadar az yağış düştüğü gözlemlenmiştir (Anonim, 2012).

Deneme alanı toprakları Arıklı toprak serisi olup, pH'nın 7.0-7.50 arasında, toplam tuz %0.22-0.27, N %0.10-0.19, organik karbon (OC) %0.63-0.90, fosfor (P) 0.63-0.90 mg/kg, kireç içeriği (CaCO₃) %32.5-35.0, kum %24-28, silt % 41-43, kilin ise %30-33 arasında değiştiği ve toprak tekstür sınıfının killi-tun (CL) yapısında olduğu saptanmıştır (Anonim, 2011).

2.2. Yöntem

Tarla denemesi, 2016 yılında Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nün (DATAEM) Doğanekent Araştırma Alanında (36° 51' 35" K ve 35° 20' 43" D) 4 tekrarlamalı, tesadüf blokları deneme desenine uygun olarak yürütülmüştür. Ekim, buğday hasadından sonraki döneme rastlayan, 13 Haziran 2016 tarihinde ya-

pılmıştır. Ekim öncesi dekara saf olarak 5 kg/da azot ve fosfor gelecek şekilde taban gübresi verilmiştir. Her genotip 70 cm aralıkla, sıra üzeri mesafesi 15 cm olacak şekilde 5 m uzunluğunda 4 sıra halindeki sırtlara elle ekilmiştir. Bitkiler 40-50 cm'ye ulaştığı dönemde, elle sıra arasına üst gübre olarak 5 kg/da saf azot verilerek sulamaya başlanılmıştır. Denemede, parsellerdeki bitkilerde salkımdaki tanelerin süt olum ile hamur olum dönemi arasındaki dönemde hasat yapılmıştır. Her parselde alınan 10 bitkininin sap, yaprak ve salkım alındıktan sonra, özel tasarlanmış bir makineden sıkılarak özsuyu alınmıştır. Ekstraksiyon ile öz suyu alınan saplardan (posa) alınan 1000 g sıkılmış örnek yaprak/dal öğütme aletinde parçalandıktan sonra (4-5 cm uzunluğunda), özel hazırlanmış 1 kg vakumlu poşetlere konulmuş ve vakum aletinde vakumlanmıştır (%95 havası alınmış). Vakumlanan silaj materyali etiketlenerek oda koşullarında muhafaza edilmiş ve 60 gün sonra silaj kalite analizlerinin yapılması için bekletilmiştir. İncelenen silaj örnekleri kurutulup tartıldıktan sonra, örneğin tamamı 1-2 mm elek çapına sahip değirmende öğütülerek analize hazırlanmıştır. Silajın NDF, ADF ve HP analizleri ile kuru maddesindeki mineral element (Ca, P, K ve Mg) içerikleri NIRS (Near Reflectance Spectroscopy, Foss XDS Rapid Content Analyser with ISIScan Software) cihazında saptanmıştır (Shenk ve Westerhaus, 1994). SKM oranı ve KMT, Schroeder (1994) tarafından açıklanan formüle göre hesaplanmıştır. Buna göre, $SKM=88.9-(0.779 \times \%ADF)$; $KMT=120/\%NDF$. Örneklerin nispi yem değerleri ise, $NYD=(\%SKM \times \%KMT)/1.29$ eşitliğine göre hesaplanmıştır. Sorgum silajı için Net Enerji laktasyon (NEL) (Mcal/kg)= $1.892-(0.0141 \times \%ADF)$ formülünden hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analizler: Elde edilen tüm veriler JUMP paket programları kullanılarak, tesadüf blokları deneme desenine göre yıllar birleşik varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar çoklu karşılaştırma Tukey testine göre karşılaştırılmıştır (Yurtsever, 1984).

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Araştırmada incelenen tüm özellikler bakımından genotipler arasında $P \leq 0.01$ seviyesinde istatistiki olarak önemli farklılık bulunmuştur. Ekstraksiyon sonucu kalan posa ile yapılan silajların NDF, ADF, HP oranı, sindirilebilir KM oranı, KMT ve net enerji değerleri, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Posa ile yapılan silajın bazı kalite değerlerine ilişkin ortalama değerler ve oluşan gruplar*

Genotipler	NDF (%)	ADF (%)	HP Oranı (%)	SKM Oranı (%)	KMT (%)	Net Enerji (Mcal/kg)
5	61.70 c-f	40.68 cde	4.68 b-e	57.21 efg	1.97 e-h	1.318 efg
6	53.94 ghi	32.98 ghi	5.77 ab	63.21 abc	2.23 abc	1.427 abc
9	59.66 d-h	37.75 c-h	5.03 a-d	59.49 b-g	2.018 c-g	1.360 b-g
14	63.55 bcd	41.94 abc	3.36 e	56.23 ghi	1.89 f-ı	1.301 ghi
15	65.66 a-d	41.16 bcd	4.52 b-e	56.84 fgh	1.83 f-ı	1.312 fgh
17	50.44 ı	30.74 ı	6.41 a	64.96 a	2.38 a	1.459 a
19	71.84 a	47.57 a	4.81 b-e	51.84 ı	1.67 ı	1.221 ı
20	54.12 f-ı	34.00 f-ı	5.59 abc	62.41 a-d	2.22 a-d	1.413 a-d
23	59.82 d-h	37.51 c-h	5.25 abc	59.69 b-g	2.01 c-g	1.363 b-g
24	60.94 c-g	38.54 c-g	5.00 a-d	58.88 c-g	1.97 c-g	1.349 c-g
26	58.28 d-h	36.09 c-ı	5.38 abc	60.79 a-g	2.06 b-f	1.383 a-g
28	61.19 c-g	39.93 c-f	4.75 b-e	57.79 d-g	1.96 d-g	1.329 d-g
29	61.48 c-g	40.53 cde	4.18 cde	57.33 efg	1.95 e-h	1.321 efg
31	55.60 e-ı	34.59 e-ı	5.29 abc	61.96 a-e	2.16 a-e	1.404 a-e
32	52.41 hı	32.19 hı	5.67 abc	63.89 ab	2.30 ab	1.438 ab
35	62.21 cde	40.47 cde	4.66 b-e	57.37 efg	1.93 e-ı	1.321 efg
40	58.10 cde	36.52 c-ı	5.16 a-d	60.45 a-g	2.08 b-f	1.377 a-g
42	54.78 e-ı	35.02 d-ı	5.62 abc	61.62 a-f	2.19 a-e	1.398 a-f
44	67.71 abc	42.22 abc	3.64 de	56.09 ghi	1.78 ghi	1.297 ghi
45	60.03 c-h	37.89 c-h	4.86 a-e	59.38 b-g	2.20 c-g	1.358 b-g
58	71.08	47.15 ab	4.88 a-e	52.17 hı	1.69 hı	1.227 hı
Ortalama	60.21	38.5	4.97	59.02	2.01	1.352
DK (%)	4.81	6.22	12.09	3.15	9.96	2.49
F	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01

*Aynı sütun içerisinde benzer harf grubu ile gösterilen ortalamalar, Tukey (%5)'e göre farklı değildir.

Nötr Deterjan Lif (%): Nötr deterjan lif (NDF) değerleri genotiplere göre değişmekle birlikte %50.44 ile 71.84 arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek NDF değeri 19nolugenotipten, en düşük NDF değeri ise 17nolugenotipten elde edilmiştir. Tatlı sorgumun ortalama NDF değerinin %45.9 -%54.9 arasında değiştiği bildirilmektedir (Gomes ve ark., 2006; Machado ve ark., 2012). Netove ark. (2017) ile Kumarive ark. (2013), sıkılan tatlı sorgum posasının silaj NDF değerlerinin %75.4 ile 73.54 arasında değiştiğini saptamışlardır. Vidyave ark. (2016) yapraklı sıkılmış tatlı sorgum posası ile yapılan silajların NDF içeriğini %71.81 olduğunu bildirmektedir. Çeşitlerine göre değişmekle birlikte sorgumun NDF %47.9-60.6 arasında değiştiği bildirilmektedir (Mahmoodve ark., 2013). Sorgum posasının NDF değeri 491 g kg KM (Naeini ve ark., 2014);

%66.3 (M81E çeşidi) ve %62.2 (Topper çeşidi) olarak saptanmıştır (Mosali ve ark., 2010).

Asit Deterjan Lif (%): Asit deterjan lif değerleri genotiplere göre değişmekle birlikte %30.74 ile 47.57 arasında değiştiği saptanmıştır. Nötr deterjan lif değerlerinde olduğu gibi en yüksek ADF değeri 19 nolu genotipten, en düşük ADF değeri ise 17 nolu genotipten elde edilmiştir. Kumarive ark. (2013), sıkılan tatlı sorgum posası ile yapılan silajların ADF değerinin %45.9-46.82 arasında değiştiğini saptamışlardır. Vidyave ark. (2016), yapraklı sıkılmış tatlı sorgum posası ile yapılan silajların ADF oranının %46.75 olduğunu bildirmektedirler. Çeşitlere göre değişmekle birlikte sorgumun ADF oranının %27.9-40.88 arasında değiştiğini bildirilmektedir (Mahmoodve ark. 2013). Sorgum posasının ADF değeri 258 g kg KM (Naeini ve ark., 2014), %39.2 (M81E çeşidi) ve %37.5 (Topper çeşidi) olarak saptanmıştır (Mosali ve ark., 2010).

Ham Protein Oranı (%):Ham protein değerleri genotiplere göre değişmekle birlikte %3.36 ile %6.41 arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek HP değeri 17 nolugenotipten, en düşük HP değeri ise 14 nolugenotipten elde edilmiştir. Yapılan önceki çalışmalarda sıkılan tatlı sorgum posasının silaj HP değerinin %3.9-7.26 arasında değiştiği bildirilmiştir (Mosali ve ark., 2010; Kumari ve ark., 2013; Naeini ve ark., 2014). Ayrıca,yapraklı sıkılmış tatlı sorgum posası ile yapılan silajların HP oranının %7.48 olduğunubildirmektedirler (Vidya ve ark., 2016). Farklı sorgum çeşitlerinin HP içeriğinin %4.10ile 11.71arasında değiştiği bildirilmiştir (Rodrigues ve ark., 2006; Junior ve ark., 2015; Neto ve ark., 2017).

Tablo 3. Posa ile yapılan silajın NYD ve bazı mineral element değerlerine ilişkin ortalamalar ve oluşan gruplar*

	NYD	P (%)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)
5	86.3 e-1	0.192 abc	0.243 abc	1.371 a-f	0.182abc
6	109.7 abc	0.161c	0.213 b-f	1.345 a-f	0.189abc
9	93.2 c-h	0.182 abc	0.218 b-f	1.338 a-f	0.180abc
14	82.5 g-j	0.169bc	0.173 e-f	1.185 a-f	0.156bc
15	80.8 g-j	0.231 a	0.288 a	1.676 ab	0.165 a-h
17	120.0 a	0.196 abc	0.228 b-e	1.573abc	0.195abc
19	67.2 j	0.193 abc	0.243 abc	1.286c-g	0.166 a-h
20	107.3 a-d	0.199abc	0.190 c-f	0.820 f	0.191abc
23	93.2 c-h	0.219 ab	0.218 b-f	1.393 a-f	0.181abc
24	90.0 d-h	0.187 abc	0.290 a	1.413a-f	0.185abc
26	97.0 b-g	0.216 abc	0.228 b-f	1.534 a-d	0.182 abc
28	87.9 e-h	0.204 abc	0.223 b-f	1.593abc	0.168 abc
29	86.8 e-1	0.169bc	0.170 f	0.945g	0.166abc
31	103.8 a-f	0.182 abc	0.200 c-f	1.379 a-f	0.197abc
32	114.0 ab	0.186 abc	0.200 c-f	1.506 a-e	0.186abc
35	86.0 f-1	0.195 abc	0.183 def	1.169efg	0.163bc
40	97.4 b-g	0.172bc	0.220 b-f	1.305 c-f	0.189abc
42	104.9 a-e	0.208abc	0.258 ab	1.391 a-f	0.211 a
44	77.6 hij	0.167bc	0.230bcd	1.421 a-f	0.181abc
45	92.3 c-h	0.180 abc	0.218 b-f	1.325 a-f	0.188 abc
58	68.4 ij	0.211 abc	0.240 abc	1.694 a	0.147c
Ortalama	92.7	0.191	0.222	1.377	0.179
DK (%)	7.61	11.43	9.37	9.80	9.78
F	P≤0.01	P≤0.01	P≤0.01	P≤0.01	P≤0.01

*Aynı sütun içerisinde benzer harf grubu ile gösterilen ortalamalar, Tukey (%5)'e göre farklı değildir.

Sindirilebilir Kuru Madde Oranı (%):Sindirilebilir kuru madde oranları genotiplere göre değişmekle birlikte %51.84 ile 64.96 arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek SKM oranı 17nolugenotipten, en düşük SKM oranı ise 19nolugenotipten elde edilmiştir.Sorgum saplarındaki şeker içeriğinin artmasıhazmolabilirliği ve yem kalitesini de artırmaktadır (Poehlman 1994; Blümmel ve ark., 2009). Juniorve ark. (2015), sorgum silajının sindirilebilirliğinin %57.02-61.35 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Karthikeyan ve ark. (2017), sorgumda sindirilebilir kuru madde oranının

çeşitlere göre %56.96 ile 66.30 arasında değiştiğini ve ortalama %61.15 olduğunu bildirmektedirler. Bulgularımız, önceki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Kuru Madde Tüketimi: Kuru madde tüketim (KMT) değerleri genotiplere göre değişmekle birlikte %1.67 ile 2.38 arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek KMT değeri 17 nolugenotipten, en düşük KMT değeri ise 19 nolugenotipten elde edilmiştir. Tatlı sorgum posası ile yapılan silajların KMT değeri iyi olup ancak bu değerlerin daha da yükseltilmesi istendiğinde, silajlara değişik katkı maddeleri ilave edilmektedir. Protein kaynaklı değişik katkı maddeleri (balık unu), azot kaynaklı katkı maddelerinin sığırlarda yem alımını artırdığı bildirilmiştir (Kim ve ark., 2000; Pereirave ark., 2008). Silaj fermantasyon kalitesinin ruminatlarda yem alımı, besin kullanımı ve süt üretimi üzerine önemli etkide bulunduğu bildirilmektedir (Huhtanen ve ark., 2002; 2003). Karthikeyan ve ark. (2017), sorgumda kuru madde alımının çeşitlere göre değişmekle birlikte %1.67 ile 2.20 arasında değiştiğini, ortalama %1.93 olduğunu bildirmektedirler. Bulgularımız, önceki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Net Enerji: Net enerji değeri genotiplere göre değişmekle birlikte 1.221 ile 1.459 Mcal/kg arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek NE değeri 17 nolugenotipten, en düşük NE değeri ise 19 nolugenotipten elde edilmiştir. Tatlı sorgumun yüksek oranda suda çözülebilir karbonhidrat içeriği nedeniyle enerji içeriğinin de yüksek olduğu bildirmektedir (Kaiser ve ark., 2004). Cattani ve ark. (2017), sorgum silajının NE enerji içeriğinin 1.82-0.92 Mcal kg KM arasında değiştiğini bildirmektedirler.

Ekstraksiyon sonucu kalan posa ile yapılan silajların NYD ve mineral elementler (Ca, K, Mg ve P) değerleri, Tablo 3'de verilmiştir.

Nispi Yem Değeri: Nispi yem değeri genotiplere göre değişmekle birlikte 67.2 ile 120.0 arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek NYD değeri 17 nolu genotipten, en düşük NYD değeri ise 19 nolu genotipten elde edilmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişmiştir. Yoncanın %10 çiçeklenme dönemibaz alınarak hesaplanan nispi yem değeri 100 olarak kabul edilmektedir. Proje kapsamında bazı genotiplerin 100'ün üzerinde değerlere sahip oldukla-

rı saptanmıştır. Durul (2016), tatlı sorgum silajının NYD değerinin 104-126 arasında değiştiğini bildirmektedir.

Fosfor (%):Fosfor değerlerinin genotiplere bağlı olarak %0.161 ile 0.231 arasında değiştiği, en yüksek P değeri 15 nolugenotipin silajında, en düşük P değeri ise 6 nolugenotipin silajında saptanmıştır. Diğer genotiplerin silajlarındaki P içeriği ise bu değerler arasında yer almıştır. Tatlı sorgum posasının fosfor içeriğinin %0.08 (Negro ve ark., 1999), sorgum silajının P içeriği %0.32 (Kappel ve ark., 1985) olarak bildirilmektedir.

Kalsiyum (%):Kalsiyum değerlerinin genotiplere bağlı olarak %0.170 ile 0.290 arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek Ca değeri 24 nolugenotipte, en düşük Ca değeri ise 29 nolu genotipin silajında saptanmıştır. Tatlı sorgum posasının Ca içeriğinin %0.19 (Negro ve ark., 1999), sorgum silajının P içeriğini %0.36 (Kappel ve ark., 1985) olarak bildirilmektedir.

Potasyum (%):Potasyum değerlerinin, genotiplere bağlı olarak %0.820 ile 1.694 arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek K değeri 58 nolugenotipte, en düşük K değeri ise 20 nolugenotipte saptanmıştır. Tatlı sorgum posasının potasyum içeriğinin %0.20 (Negro ve ark., 1999), sorgum silajının P içeriğini %1.47 (Kappel ve ark., 1985) olarak bildirilmektedir.

Magnezyum (%):Magnezyum değerlerinin genotiplere göre %0.147-0.211 arasında değiştiği en yüksek Mg değeri 42 nolugenotipte, en düşük Mg değeri ise 58 nolugenotipin silajında saptanmıştır. Diğer genotiplerin silajlarındaki Mg içeriği ise bu değerler arasında değişmiştir. Kappel ve ark. (1985), Sorgum silajın ortalama Mg içeriğinin %0.34 olduğunu bildirmektedir.

4. SONUÇ

Biyotanol üretimi için özsuyu alınan sapsarla (posa) silaj yapılması sonucu, genotiplere bağlı olarak silajların ham protein (HP) oranının %3.36-6.41, SKM oranının %51.84-64.96, kuru madde tüketimi (KMT) oranının %1.69-2.38, net enerji değerinin 1.221-1.459 Mcal/kg ve nispi yem değerinin (NYD)'nin 67.2-120.0 ara-

sında değiştiği saptanmıştır. Daha 6nce yapılan çalışmalarda, Çukurova ikinci 6r6n koşullarında silajlık mısır ile yapılan çalışmalarda KMT oranın %2.45, SKM oranın %66.1 ve NYD 124 olarak belirlenmiştir (Korkmaz ve ark., 2015; Y6cel ve ark., 2015). Sorgum posası ile yapılan silajların mısır silajına eşdeğer kalitede kaba yem oluşturduğu g6r6lmektedir. Araştırma sonuçlarına dayanılarak, 6lkemizin Akdeniz ikliminin h6k6m s6rd6ę6 b6lgelerinde uygulanmakta olan ekim n6beti sisteminde tatlı sorgum bitkisine yer verilerek bu bitkiden hem bioetanol elde edilebileceği ve hem de 6lkemiz hayvancılığının kaliteli kaba yem gereksiniminin karşılanmasına 6nemli katkı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekk6r: Proje kapsamında değerlendirilen materyal, T6B6TAK tarafından desteklenen **1140945** nolu projeden sağlanmıştır. Desteklerinden dolayı T6B6TAK'a teşekk6r ederiz.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2010). Denemelerin y6r6t6ld6ę6 yıllara ait 6klim verileri. Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstit6s6 Meteoroloji İşstasyonu Verileri. Adana.
- Anonim, (2011). Deneme alanı topraklara ait 6zellikler. .6. Ziraat Fak6ltesi Toprak B6l. Lab. Sonuçları, Adana
- Bl6mmel, M., Rao, S.S., Palaniswami, S., Shah, L., & Reddy, B.V.S. (2009). Evaluation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) used for bio-ethanol production in the context of optimizing whole plant utilization. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 9, 1-10.
- Cattani, M., Guzzo, N., Mantovani, R., & Bailoni, L. (2017). Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8:15, DOI 10.1186/s40104-017-0146-8.
- Dolciotti, I., Mambell, S., Grandi, S., & Ventur, G. (1998). Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crop Production*, 7, 265-272.
- Drapcho, C.M., Nhuan, N.P., & Walker, T.H. (2008). Biofuels Engineering Process Technology, The McGraw-Hill companies, Inc, USA

- Durul, G. (2016). Farklı Biçim Zamanlarının Tatlı Sorgum (*Sorghumbicolor*(L.) Moench var.*saccharatum*) ve Fasulye (*Phaseolusvulgaris*) Silaj Karışımlarında Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri ABD, *Y. Lisans Tezi*, 72 s.
- Gomes, S.O., Pitombeira J.B., Neiva, J.N.M., &Candidado M.J.D. (2006). Agronomic behavior and forage composition of sorghum cultivars in the State of Ceará. *RevistaCiênciaAgronômica*, 37(2), 221-7.
- Huhtanen, P., Khalili, H., Nousiainen, J.I., Rinne, M., Jaakkola, S., Heikkila, T.,&Nousiainen, J. (2002). Prediction on the relative intake potential of grass silage by dairy cows. *Livestock Production Science*, 73: 111-130.
- Huhtanen, P., Nousiainen J.I., Khalili, H., Jaakkola S., &Heikkila T. (2003). Relationship between silage fermentation characteristics and milk production parameters: analyses of literature data. *Livestock Production Science*, 81,57-73.
- Jacques, K., Lyons, T. P., &Kelsall, D.R. (1999). The Alcohol Textbook. 3rd Eds. P.388 .
- Jafarinia, M., Almodares, A., &Khorvash, M. (2005). Using sweet sorghum bagasse in silo In: Proceeding of the 2nd Congress of Using Renewable Sources and Agric. Wastes (Eds. M Jafarinia, A Almodares& M Khorvash). KhorasganAzade University, Isfahan, Iran.
- Junior, M.A.P.O., Retore, M., Manarelli, D.M., de Souza, F.B., Ledesma, L.L.M., &Orrico, A.C.A. (2015). Forage potential and silage quality of four varieties of saccharine sorghum.*PesquisaAgropecuáriaBrasileira*, 50 (12), 1201-7.
- Kaiser, A.G., Plitz J.W., Burns H.M., &Griffiths N.W. (2004). Successful Silage. Dairy Australia NSW Department of Primary Industries, 468p.
- Kappel, L. C., Morgan, E. B., Kilgore, L., Ingraham, R. H., Babcock, D. K. (1985). Seasonal changes of mineral content of southern forages. *Journal of Dairy Science*,68 (7), 1822-1827.
- Karthikeyan, B.J., Babu, C., &Amalraj, J.J. (2017). Nutritive value and fodder potential of different sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8),898-911.

- Kim, S.C., Kim, J.H., Kim, C.H., Lee, J.C., &Ko, Y.D. (2000). Effects of whole crop corn ensiled with cage layer manure on nutritional quality and microbial protein synthesis in sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 13,1548-1553.
- Korkmaz, Y., Aykanat, S., Yücel, H., Avcı, M., Yücel, C., & Hatipoğlu, R. (2015). Çukurova Koşullarında İkinci Ürün Olarak yetiştirilebilecek Silajlık Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Verim ve Silaj Kalitesi Üzerine Bir Araştırma. Sonuç Raporu. TA-GEM/TBAD/13A03/P01/013.
- Kumari, N. N., Reddy, Y.R., Blümmel, M., Nagalakshmi, D., & Monica, T. (2013). Effect of feeding sweet sorghum bagasse silage with or without chopping on nutrient utilization in deccani sheep. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13,243-249.
- Kutlu, H.R., & Çelik, L. (2016). Yemler Bilgisi ve Yem Teknolojisi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:226, Kitaplar Yayın No: A-86,378 s. Adana.
- Machado, L.C., Ferreira, W.M., & Scpinello, C. (2012). Apparent digestibility of simplified and semi-simplified diets, with and without addition of enzymes, and nutritional value of fibrous sources for rabbits. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41,1662-1670.
- Mahmood, A., Ullah, H., Ijaz, M., Javaid, M.M., Shahzad, A.N., & Honermeier, B. (2013). Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. *Australian Journal of Crop Science*, 7(10):1456-1462.
- Mosali, J., Rogers, R., Huhnke, R., Bellmer, D., & Cook, B. (2010). Effect of nitrogen fertilization timing on juice and bagasse quality of sweet sorghum for biofuel production. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 48, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
- Mastorilli, M., Katerji N., & Rana, G. (1999). Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy*, 11,207-215.
- Naeini, Z., Khorvash, S, M., Rowghani, E., Bayat, A., & Nikousefat, Z. (2014). Effects of urea and molasses supple-

mentation on chemical composition, protein fractionation and fermentation characteristics of sweet sorghum and bagasse silages alternative silage crop compared with maize silage in the arid areas. *Research Opinions in Animal and Veterinary Sciences*, 4(6), 343-352.

Negro, M.J., Solano, M.L., Ciria, P., & Carrasco, J. (1999). Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. *Bioresource Technology*, 67, 89-92.

Neto, A.B., Pereira dos Reis, R.H., Cabral, L. S., Abreu, J. G., Sousa D.P., & Sousa F.G. (2017). Nutritional value of sorghum silage of different purposes. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(3), 288-299.

Pereira, D.H., Pereira, O.G., Silva, B.C., Leao, M.I., Valadares, F.S.C., & Gacia, R. (2008). Nutrient intake and digestibility and ruminal parameters in beef cattle fed diets containing *Brachiaria brizantha* silage and concentrate at different ratios. *Animal Feed Sciences Technology*, 140, 52-56.

Poehlman, J.M. (1994). Breeding sorghum and millet. In *Breeding field crops*, 3rd ed, ed. J.M. Poehlman, 508-541. Ames, Iowa, USA: *Iowa State University Press*.

Ritter, K.B., McIntyre, C.L., Godwin, I.D., Jordan, D.R., & Chapman, S.C. (2007). An assessment of the genetic relationship between sweet and grain sorghums, within *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* (L.) Moench, using AFLP markers. *Euphytica*, 157, 161-176.

Rodrigues, F.O., França, A.F. de S., Oliveira, R. de P., Oliveria, E.R. de., Rosa, B., Soares T.V., & Mello, S.Q.S. (2006). Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) submetidos através doses de nitrogênio. *Ciência Animal Brasileira*, 7, 37-48, DOI: 10.1590/S1516-35982002000900030.

Schroeder, J.W. (1994). *Interpreting Forage Analysis*. Extension Dairy specialist (NDSU). AS-1080, North Dakota State University.

Shenk, J.S., & Westerhaus, M.O. (1994). The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In 'Forage Quality, Evaluation, and Utilization'. (Ed GC Fahey) pp. 406-449. (ASA-CSSASSSA: Madison, Wisconsin).

- Shinde, M.S., Repe, S.S., Gaikwad, A.R., Dalvi, U.S., & Gadakh, S.R. (2013). Physio-biochemical assessment of sweet sorghum genotypes during post rainy season. *Journal of Academia and Industrial Research*, 1(8).
- Steduto, P., Katerji N., Puertos-Molina H., Unlu M., Mastrorilli, M., & Rana G. (1997). Water use efficiency of sweet sorghum under water stress conditions. Gas exchange investigations at leaf and canopy scales. *Field Crop Research*, 54, 221-234.
- Vidya, B., Reddy, Y.R., Rao, D.S., Reddy, V.R., Kumari, N.N., & Blummel, M. (2016). Effect of supplementation of concentrate to sweet sorghum bagasse with leaf residue silage on nutrient utilization and nitrogen balance in native sheep. *Indian Journal Animal Research*, 50 (3), 387-391.
- Yurtsever, N. (1984). Deneysel İstatistik Metotları. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müd. Yay, Genel Yayın No: 56, Ankara.
- Yücel, C., Avcı, M., İnal, İ., Akkaya, M.R., & Kızıllışımşek, M. (2015). Çukurova Koşullarında Mısırın Soya ile Farklı Karışım Oranları ve Biçim Dönemlerinin Ot Verimi ve Silaj Kalitesine Etkileri. Sonuç Raporu. TAGEM/TA/11/01/005.

Farklı Dozlardaki Gümüş Nanopartiküllerinin Taze Soğan (*Allium Cepa*) Üzerine Etkisi

Yelderem AKHOUNDNEJAD^{1*} Şeyhmus BARAN² Özgür KARAKAŞ³ Hüseyin MISIRDALI⁴

¹ Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi; yakhoundnejad@sirnak.edu.tr

² Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi; seyhmus.baran34@gmail.com

³ Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi; okarakas80@gmail.com

⁴ Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi; misirdali46@hotmail.com

* Sorumlu Yazar; yakhoundnejad@sirnak.edu.tr; Tel. (00905448645435)

Gönderme tarihi: 09/05/ 2019

Kabul tarihi: 11/06/ 2019

ÖZET

Soğanda farklı gümüş nanopartikül dozlarının bitki büyüme ve gelişimi üzerindeki etkisinin incelendiği çalışma 2018 yılında, Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü araştırma ve uygulama alanında yürütülmüştür. Denemede Narlı soğanın çeşidini kullanılmıştır. Soğan denemesinde farklı gümüş nanopartikül (0, 25, 50, 75, 100 ppm) dozları uygulanmıştır. Gümüş nanopartikül uygulaması soğan ekiminden 4 hafta sonra başlamış olup ayrıca 14 gün ara ile uygulama gerçekleştirilmiştir. Denemede iki farklı tarihte (14 Aralık 2018 ve 20 Kasım 2018) ölçümle yapılmıştır. Çalışma sonucunda bitkiler bitki boyu, gövde çapı, yaprak genişliği, bitki genişliği ve kök kuru madde oranı ölçümleri bakımından değerlendirilmiştir. Farklı dozlarda uygulanan gümüş nanopartiküllerin Sonuç olarak deneme arasında istatistiksel olarak farklılık görülmüştür. Buna göre Gümüş nanopartiküllerin 50 ppm kullandığımız dozunda denememizde en iyi şekilde etkili olmuştur.

Anahtar Kelimeler; Soğan; Gümüş; Nanopartikül

Effect of Different Doses of Silver Nanoparticles on Fresh Onions (*Allium Cepa*)

ABSTRACT

The research was conducted in 2018 in the garden and laboratory of the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Sırnak University. The narli onion

type was used in the experiment. Five different silver nanoparticle dosage (0, 25, 50, 75, 100 ppm) were used in the experiment. Silver nanoparticle brand. Onion shallots were planted on October 10, 2018. Experimental silver nanoparticle application was started four weeks after onion planting. In addition, the application was done in every 14 days. Experiment planted as 25 cm between lines and 5 cm between plants. The data obtained at the end of the experiment were subjected to JMP program and statistical analyzes were made and the means were compared according to LSD test. In experiment, measurements were taken on two different dates as 14.12.2018 and 20.11.2018. In addition, plant height, trunk diameter, leaf width, plant width and root dry matter ratio were measured in the experiment. As a result, statistical difference was seen between the trials. According to this, the experiment that we used 50 ppm nanoparticles dosage became the most effective experiment we did.

Key Words: Onion; Silver; Nanoparticle

1.GİRİŞ

Çok geniş bir kullanım amacı olan nanopartiküller(NP) çeşitli amaçlara yönelik olarak bugün hayatımızın her alanında boy göstermekte. Tekstilden kozmetiğe, tıptan yüksek teknolojiye kadar NP'ler her alanda karşımıza çıkmaktadır. Fakat NP'lerin çevresel faktörler üstündeki birikimi ve etkisi konusu şimdiden önemli araştırmaların konusu olmaya başlanmıştır (Tunca, 2012). Son yıllarda farklı alanlarda kullanılan nanoteknoloji, fitopatolojik açıdan da yeni yaklaşımlar ortaya çıkarmıştır. Bitki hastalıklarıyla mücadelede kullanılan nanoteknolojik partiküller, farklı etki mekanizmalarına ve ultra küçük boyutlara sahip olmalarıyla etkin bir kontrol sağlamaktadırlar (Atakan ve ark., 2018). Nano kelimesi Yunanca kökenli olup "cüce" anlamı taşımaktadır. Bilimsel anlamda kullanmak gerekirse herhangi bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir (Tegart, 2003). Bir metrenin milyarda birine eşit bir uzunluk biriminde nanometre denilmektedir. Nanoteknoloji ise biyoloji, fizik, kimya tıp ve mühendislik alanlarını kapsayan disiplinlerarası bir bilimdir (Singh, 2006). Nanoteknoloji, çapaları 100 (nm'den) daha az biyolojik ve biyolojik olmayan yapıların karakterizasyonu, oluşumu ve kullanılması üzerinde yoğunlaşmış bir teknolojidir.'Nano' kelime olarak, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda birine denk bir uzunluk birimidir. Bir nanometre içine yan yana yalnızca 2-3 atom dizilebilmektedir; yaklaşık olarak

100-1000 tane atom yan yana gelerek nano ölçekli bir maddeyi oluşturmaktadır (Çıracı, 2005). Nanopartiküller, nanoparteküllerin özelliklerine bağlı olarak birçok morfolojik ve fizyolojik değişime sebep olan bitkilerle etkileşime girmiştir. Nanoparteküllerin etkinliği kimyasal bileşimleri, büyüklükleri, yüzey kaplamaları, reaktiviteleri ve en önemlisi etkili oldukları doz ile gösterilir (Khodakovskaya ve ark., 2012). Bu sebeple, nanopartiküllerin bitkiler üzerindeki tepkileri farklılık göstermekte, ortaya çıkan bu farklılıkbüyük ölçüde, morfolojik, kompozisyon ve fiziksel-kimyasal özelliklerine göre değişmektedir (Ma ve ark., 2010). Kullanılan bilgi nanoteknolojinin sorumlu ve sürdürülebilir bir biçimde büyümesi için büyük önem taşımaktadır (Asare ve ark., 2012). Nanoteknolojide, çapları 1-100 nanometre (nm'den) ölçütlerde temizleme metotları, ölçüm, tasarım, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalara yön verilen bir bilimdir. Teknolojik olarak maddenin atom ve teknolojik özellikleri gelişmiş veya yeni fiziksel, kimyasal ve teknolojik özelliğini kazandırmayı sağlayan, yeni bir teknolojik ortamıdır. Gümüş-Ag nanoteknolojinin farklı dozlarda açık arazide domates bitkisine uygulanarak verim ve kalite üzerine etkileri belirlenmiştir. Ayrıca Ag Nanopartiküller ppm bazında kullandığımız için ekonomik açıdan çiftçilere uygundur.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma 2018 yılında, Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünün araştırma ve uygulama alanı ile laboratuvarında yürütülmüştür. Denemede Narlı soğan çeşidini kullanılmıştır. Denemede 5 farklı gümüş nanopartikül (0, 25, 50, 75, 100 ppm) dozu kullanılmıştır. Denemede gümüş nanopartikül markası ve özellikleri Ag nanopartiküler özeliği AB202468 ve 4-7 APS 4-7 mikron; 99.9% kullanılmıştır. Soğan arpacıkları 10 Ekim 2018 Tarihte ekilmiştir. Deneme gümüş nanopartikül uygulaması yaklaşık soğan ekiminden 1 ay sonra başlamış ve her iki haftada bir uygulama yapılmıştır. Arpacıklar sıra arası 25 cm, sıra üzeri 5 cm olarak ekilmiştir. Deneme tesadüf blokları deneme deseni ve 4 tekerrürlü ve her tekerrürde 15 soğan bitkisi olacak şekilde planlanmıştır. Denemede 14.12.2018 ve 20.11.2018 olmak üzereiki farklı zamanda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca denemede bitki boyu, gövde çapı, yaprak genişliği ve bitki genişliği ve kök kuru madde oranı ölçümler yapılmıştır. Deneme sonunda elde edilen veriler JMP pa-

ket programına tabi tutularak istatistiksel analizleri yapılmış ve ortalamalar LSD testine göre karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Deneme süresince bitkilerin 2'er defa bitki boy ve bitki genişliği ölçümleri yapılmıştır. Bitki boy ve bitki genişliği Tablo 1 ve 2 'de belirtildiği üzere 1. ve 2. ölçümlerinde istatistiksel olarak farklılıklar görülmüştür. Birinci ölçümde bitki boy ve bitki genişliği istatistiksel olarak en yüksek değer sırasıyla 22.14 cm ve önemsiz değer 50 ppm görülmüştür. En düşük değerler ise 14.86 cm ve 13.50 mm ile 100 ppm olarak bulunmuştur. İkinci ölçümde bitki boyu ve bitki genişliği istatistiksel olarak en yüksek değer sırasıyla 37.00 cm ve 19.75 mm ile 50 ppm en düşük değer ise 21.25 cm ve 13.50 mm ile 100 ppm olarak bulunmuştur. Yapılan farklı uygulamaların istatistiksel hesaplamaları sonucu bitki boyunun kontrole oranla daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca 100 ppm Np kullandığınızda kontrole göre daha düşük görülmüştür. Ayrıca bitki genişliği 1. Ölçümde istatistiksel olarak uygulamalar arasında fark görülmemiştir. Buna göre kontrole göre taze soğanda Ag Np farklı aşama ölçümlerde bitki boyu ve bitki genişliği ölçümlerinde kontrole göre daha düşük çıkmaktadır. Sonuç itibariyle istatistiksel analizlere bakınca en iyi sonucun 50 ppm uygulamasında görüldüğü belirlenmiştir.

Tablo 1. Denemede uygulanan Ag-NP lerin, bitki boyu, bitki genişliği, gövde çapı ve yaprak genişliği, ilk ölçüm değerleri

Ag NP	Bitki yu(cm)	Bo- luğ (mm)	Bitki Geniş- liği (mm)	Gövde Çapı (mm)	Yaprak Geniş- liği (mm)
Kontrol (0 ppm)	17.12 d		11.00	7.53 c	0.58 c
25 ppm	18.99 c		10.50	8.20 b	0.70 b
50 ppm	22.14 a		15.50	8.60 a	0.88 a
75 ppm	20.13 b		14.50	8.30 ab	0.70 b
100 ppm	14.92 e		9.50	7.64 c	0.55 c
Ortalama	18.66		12.2	8.00	0.68
LSD ₅	0,68		Öd	0.38	0.11
Prob>f	0.0189		0.9725	0.0387	0.0213
F	**		-	*	**

Öd: Önemsiz değer

Deneme süresince bitkilerin 2'er defa gövde çapı ve yaprak genişliği ölçümleri yapılmıştır. Gövde çapının Tablo 1 ve 2 'de belirtildiği üzere birinci ve ikinci ölçümlerinde istatistiksel olarak farklılık görülmemiştir. Birinci ölçümde gövde çapı ve yaprak genişliği istatistiksel olarak en yüksek değer sırasıyla 8.60 ve 0.88 mm ile 50 ppm en düşük değer 7.53 ve 0.55 mm ile 100 olarak tespit edilmiştir. İkinci ölçümde gövde çapı ve yaprak genişliği istatistiksel olarak en yüksek değer sırasıyla 11.53 ve 1.26 mm ile 50 ppm bulunmuştur. Ayrıca en düşük değer sırasıyla 8.74 ve 0.87 mm ile 100 ppm olarak tespit edilmiştir. Yapılan farklı uygulamaların istatistiksel hesaplamaları sonucunda gövde çapı ve yaprak genişliği kontrolle oranla daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca 100 ppm Np kullandığınızda kontrole göre daha düşük görülmüştür. Np 100 ppm bazında kullandığımızda ters etki etmiştir. Buna göre kontrole göre taze soğanda farklı aşama ölçümlerde gövde çapı ölçümlerinde kontrole göre daha düşük çıkmaktadır. Sonuç itibariyle istatistiksel analizlere bakılacak olunursa en iyi sonucun 50 ppm uygulamasında görüldüğü belirlenmiştir.

Tablo 2. Denemede uygulanan Ag-NP lerin, Bitki Boyu, Bitki Genişliği, Gövde Çapı ve Yaprak Genişliği ikinci ölçüm değerleri

Ag NP	Bitki Boyu(cm)	Bo- Bitki Genişliği (mm)	Gövde Çapı (mm)	Yaprak Genişliği (mm)
Kontrol (0 ppm)	27.25 c	14.25 cd	9.21 d	0.88 c
25 ppm	32.00 b	15.00 c	9.56 c	1.07 b
50 ppm	37.00 a	19.75 a	11.53 a	1.26 a
75 ppm	34.50 ab	17.00 b	10.68 b	1.18 ab
100 ppm	21.25 d	13.50 d	8.74 e	0.87 c
Ortalama	30.30	15.85	9.94	1.05
LSD _{5%}	3.11	1.15	2.29	Öd
Prob>f	0.0039	0.0366	0.0488	0.9940
F	**	*	*	-

Öd: Önemsiz değer

Çekiç ve ark. (2017) tarafından yapıldığı çalışmada, domateste uygulanan 10 20 40 ve 80 ppm gümüş nanaopartiküller denemede enzimlerinin aktivitesinde dozlar arasında farklılık görülmüştür. Börülcede uygulanan 0, 50, 70 ppm gümüş nanopartiküller bitkinin kök sisteminde gelişmesini sağlamıştır (Pallavi ve ark., 2016). Sabetanha ve arkadaşlarını (2017) tarafından gerçekleştirilen çalış-

malarında safranda kuraklık stres denemesinde farklı dozlarında gümüş nanopartiküller uygulamalarında 55 ppm gümüş nanopartiküller 110 ppm gümüş nano partikülere göre verim ve karotenoid açısından daha iyi sonuç alındığını belirlenmiştir. Deneme hasat yapıldıktan sonra Kök kuru madde oranını yapılmıştır. Kök kuru madde değerleri Tablo 3 'de belirtildiği üzere ölçümlerinde istatistiksel olarak farklılık görülmüştür. Ölçümde istatistiksel olarak en yüksek değer %8.84 ile 50 ppm en düşük değer %7.66 ile kontrol ve 100 ppm olarak bulunmuştur. Yapılan farklı uygulamaların istatistiksel hesaplamaları sonucu bitki boyunun kontrole oranla daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 100 ppm Np kullandığımızda kontrole eşit değer olarak görülmüştür. Np 100 ppm bazında kullandığımızda ters etki etmiştir. Gümüş nano partiküller mikroorganizmanın solunum ve üremesinde etkili olmuştur (Lok ve ark., 2007).

Tablo 3. Denemede uygulanan Ag-NP lerin, Kök kuru madde oranı değerleri(%)

Ag-NP	Kök kuru madde oranı (%)
Kontrol (0 ppm)	7.66 d
25 ppm	8.07 c
50 ppm	8.84 a
75 ppm	8.27 b
100 ppm	7.66 d
Ortalama	8.1
LSD ₅	0.18
Prob>f	0.0294
F	*

5.SONUÇ

Sonuç olarak ölçümlerini incelendiğinde; bitki boyu, gövde çapı, yaprak genişliği ve bitki genişliği deneme arasında farklılık görülmüştür. Buna göre Ag nanopartiküllerin 50 ppm kullandığımız dozunda denememizde en iyi şekilde etkili olmuştur. Ayrıca genel olarak denemede 100 ppm dozlarında denemede yapılan ölçümlerde değerler kontrole göre daha düşük çıktığını görülmektedir. Gelecekte çiftçiler arazi şartlarında ppm bazında kullanması için düşük maliyet olarak olacaktır. Ayrıca bitkilerde ürün ve kalite olarak etki edecektir.

KAYNAKLAR

- Asare, N. Örnek, C. Sandberg, WJ. Refsnes, M. Schwarze, P. Kruszewski M. & Brunborg, G. (2012). Testis hücrelerinde gümüş nanopartiküllerin sitotoksik ve genotoksik etkileri. *Vitro'da Toksikol.* 291 (1 - 3): 65 - 72.
- Atakan, A. & Özgenen Özkaya, H. (2018). Fitopatolojide nanoteknoloji-Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 22(2):296-303.
- Çekici, F. Ö. Ekinci, S. İnal, M.S. & Ünal, D. (2017). Silver nanoparticles induced genotoxicity and oxidative stress in tomato plants. *Turk J Biol* 41: 700-707, doi:10.3906/biy-1608-36.
- Çıracı, S. Özbay, E. Gülseren, O. Demir, HV. Bayındır, M. Oral, A. Senger, T. Aydın, A. & Dana, A. (2005). Türkiye'de Nanoteknoloji. TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Ağustos sayısı.
- Khodakovskaya, MV. K. de Silva, AS. Biris, E. Derwish, & Villagarcia, H. (2012). 'Karbon nanotüpler, tütün hücrelerinin büyümesini arttırmaya neden olur'. *ACS Nano*, 6 (3): 2128-2135.
- Lok, CN. Ho, CM. Chen, R. He, QY. Yu, WY. Sun, H. Tam, PKH. Chiu, JF. K. & Che, CM. (2007). Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities. *Journal of Biological Inorganic Chemistry* 12, 527-534.
- Ma, X, J. Geiser-Lee, Y. Deng & A. Kolmakov. (2010). "Tasarlanmış nanoparçacıklar (ENP'ler) ve bitkiler arasındaki etkileşimler: fitotoksosite, alım ve biriktirme". *Toplam Çevre Bilimi*, 408 (16): 3053–3061.
- Pallavi, i. C. M. Mehta, Rashmi Srivastava, Sandeep Arora, A. & Sharma K. (2016). Impact assessment of silver nanoparticles on plant growth and soil bacterial diversity. *3 Biotech* 6:254 DOI 0.1007/s13205-016-0567-7.
- Tegart, G. (2003). Nanotechnology: The Technology for the 21th Century. The Second International Conference on Technology Foresight, 27-28 Feb, 1-12s. Tokyo.
- Tunca, E. (2012). Nanopartiküllerin bazı toksit etkileri üzerine bir derleme).

- Sabertanha, B., Fakheri, B., Mahdinezhad, N., Alizade, Z. (2017)., Effects of silver nanoparticles elicitor and drought stress on the expression of beta-carotene hydroxylase (bch) gene on the yield of saffron carotenoid (*Crocus sativus* L.) *Crop Biotech.* Spring 17: 1-13.
- Singh, J. (2006). Nanomaterials and Nanotechnology. *Asian Journal of Chemistry*,18(5): 3271-3274.

Thermal stresses in a cylindrically curved FGM beam

Mehmet Haskul^{1*}

^{1*} Sırnak University; mehmethaskul@sirnak.edu.tr

* Corresponding Author; mehmethaskul@sirnak.edu.tr;

Tel. (+90 486 216 80 04)

Received Date: 02/05/ 2019

Accepted Date: 21/06/ 2019

ABSTRACT

In this study, the stress analysis of the cylindrically curved beam, which is functionally graded for thermal load in radial direction, has been analytically analyzed. The temperature distribution varies steadily state as a function of the radial coordinate. The beam is assumed to be in the plane strain state. The elasticity modulus of the functionally graded beam is assumed to vary with the power law in relation to the thickness of the beam. In addition, the effect of the vary in the power law parameter and with the general mixture law, all material properties of the beam (modulus of elasticity, density, thermal expansion coefficient, thermal conductivity coefficient and yield stress) except for Poisson's ratio change in radial direction. Thus, all material properties of the beam vary depending on the power law. Beam; stresses under positive, negative and homogeneous temperatures were examined. Stress analysis is considered according to Von Mises yield criterion.

Keywords: : Functionally graded materials (FGM); Curved beam; Thermal stress; Von Mises yield criteria

Silindirik Eğri Eksenli FDM Kirişte Isıl Gerilmeler

ÖZET

Bu çalışmada, radyal doğrultuda sıcaklığa maruz fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin yapılmış silindirik olarak eğri eksenli kirişin gerilme analizi analitik olarak incelenmiştir. Sıcaklık dağılımı kararlı ve dengeli bir durum ve radyal koordinatın bir fonksiyonudur. Eğri eksenli kiriş düzlem şekil değiştirme durumunda olduğu varsayılmaktadır. Elastisite modülü üstel kuvvete göre kirişin kalınlığı doğrultusu boyunca değişmektedir. Buna ek olarak üstel kuvvet etkisi ve genel karışım kanunu birlikte uygulanarak kirişin diğer malzeme özellikleri (elastisite modülü, yoğunluk, ısıl genleşme katsayısı, ısıl iletim katsayısı ve akma dayanımı) Poisson oranı hariç radyal doğrultu boyunca değişmektedir. Bu durumda bütün malzeme özellikleri üstel kanuna göre değişmektedir. Pozitif, nega-

tif ve homojen sıcaklıklar altında kırışte oluşan gerilmeler incelenmiştir. Gerilme analizi için von Mises akma kriteri uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDM), eğri eksenli kırış, von Mises akma kriteri

1. INTRODUCTION

Curved beams are frequently used in engineering, and these structures are often subjected to mechanical and thermal loads. Therefore, many researchers examined deformation behaviors of these structures under different loads. Deformation behavior of curved beams and methods to increase the material limits of such bars under varying loads have received significant attention by researchers. Elastic analysis of wide curved bar has been given by Timoshenko and Goodier (1970). Shaffer and House (1957, 1954) have been obtained equations for the elastic-plastic stress distribution a perfectly plastic wide curved bar and displacements a perfectly plastic incompressible material wide curved bar subjected to pure bending. Arslan and Mack (2014) presented analytical solutions for the elastic-plastic behavior of the panel under the thermal load. Analytical solution of linear hardening elastic-plastic material in the work are investigated (Dadras, 2001; Eraslan and Arslan, 2008) and obtained the behavior for nonlinear hardening material by Arslan and Eraslan (2010). The classical shell theory has studied the nonlinear behavior of curved panels under pressure and temperature (Librescu et al., 2000; Duc and Van Tung, 2010). Kiani et al. (2012) investigated the dynamic behavior of the functionally graded panel in the radial direction subjected to thermal and mechanical loads. Dryden (2007) studied elastic bending stresses of functionally graded curved bars. Mohammadi and Dryden (2008) investigated the the thermoelastic stress field in a functionally graded curved beam. Their work is obtained analtically where the radial variation of the stiffness is represented by a fairly general form. Eraslan and Akis (2006) have analytical solutions for plane stress and plane strain for the functionally graded rotating shaft and solid disk.

In this study, analytical solutions for the stress analysis in cylindrically curved FGM beam are derived under assumption of plane strain state. The analytical solution for the elastic limit and displacements of the curved FGM beam subjected to thermal and

mechanical loads is obtained. It is assumed that the material properties of the beam (modulus of elasticity, density, coefficient of thermal expansion, coefficient of thermal conduction and yield stress) are varied in radial direction depending on the power law.

2. MATERIAL and METHOD

Stress analysis cylindrically FGM curved beam with a rectangular cross section (see Fig. 1) under plane strain condition is investigated. In addition, the beam is fixed in the cylindrical direction by rigid supports and these supports allow displacement on the end surfaces of the beam, but the radius of curvature of the central surface of the beam remains constant. Figure 1 shows the geometry of the curved beam with the inner radius a and the outer radius b .

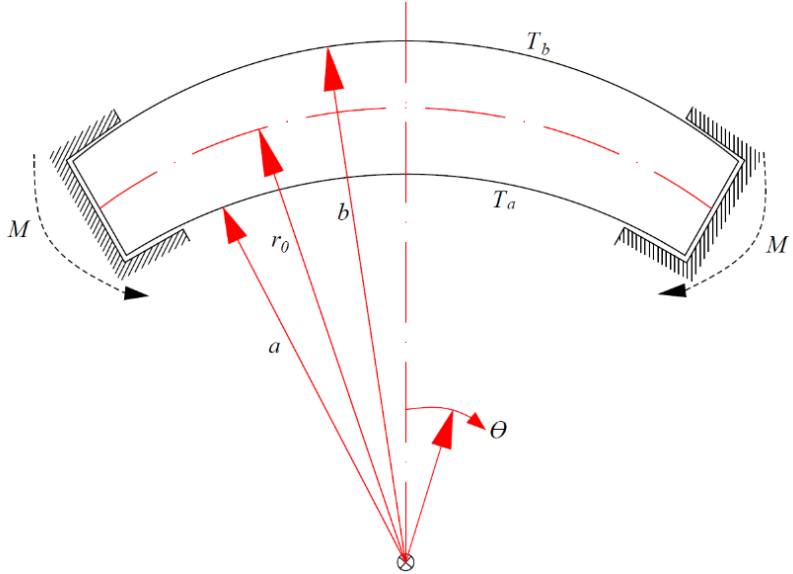


Figure 1. Coordinate system used and curved beam

2.1 Statement of the Problem

The subject of the current investigation is a curved beam (see Fig. 1) with stress-free inner and outer cylindrical surfaces,

$$\sigma_r \Big|_{r=a} = 0, \quad (1)$$

$$\sigma_r \Big|_{r=b} = 0. \quad (2)$$

In the radial direction, the FGM curved beam is in plane strain state ($\varepsilon_z = 0$) and is radially displaced by varying $T=T(r)$ temperature distribution. Displacement of the beam in the radial direction;

$$r = r_0 : \quad u = 0 \quad (3)$$

Since it is assumed that the initial middle surface where $r_0 = (a + b)/2$ does not undergo a radial displacement. Moreover, the couple moments M that occur at the rigid supports at the angular direction can be defined as

$$M = \int_a^b \sigma_\theta r dr \quad (4)$$

2.2 Basic Equations

The strain-displacement relations;

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta}, \quad (6)$$

$$\gamma_{r\theta} = -\frac{v}{r} + \frac{\partial v}{\partial r} = 0. \quad (7)$$

the equilibrium equation in the radial direction is;

$$\sigma_\theta = \frac{d}{dr}(r\sigma_r) \quad (8)$$

Taking into account a variable modulus of elasticity $E = E(r)$ and a variable coefficient of thermal expansion $\alpha = \alpha(r)$, but Poisson's ratio (ν) constant, the generalized Hooke's law can given as;

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E(r)} [\sigma_r - \nu(\sigma_\theta + \sigma_z)] + \alpha(r)T, \quad (9)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E(r)} [\sigma_\theta - \nu(\sigma_r - \sigma_z)] + \alpha(r)T, \quad (10)$$

$$\varepsilon_z = 0 = \frac{1}{E(r)} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)] + \alpha(r)T. \quad (11)$$

In order to describe the material properties at any point of the FGM curved beam, general linear mixture law is used. The general linear rule of mixture reads

$$\text{Pr}_{eff}(r) = \text{Pr}_0 V_0(r) + \text{Pr}_1 V_1(r) \quad (12)$$

where Pr_{eff} denotes material property, and subscripts 0 (zero) and 1 specifies the volume fraction of material. In addition, It has been suggested that there are pure components on the inner surface of the curved beam, 0 (zero) of the FGM curved beam, i.e., $V_0(a) = 1$ and with the index 1 indicating the second constituent, it is given as;

$$V_1(r) = 1 - V_0(r). \quad (13)$$

The modulus of elasticity is as follows:

$$E(r) = E_0 \left(\frac{r}{a} \right)^m, \quad (14)$$

Eqs. (13) and (14) are substituted in Eq. (12) and a straight forward the relation of the volume fraction coefficient of the constituent 0 are obtained.

$$V_0(r) = \frac{E_0 \left(\frac{r}{a} \right)^m - E_1}{E_0 - E_1}. \quad (15)$$

Then, applying the rule of mixture Eq. (12), the coefficient of thermal expansion $\alpha(r)$ and the density $\rho(r)$, the uniaxial yield limit $\sigma_y(r)$, and the thermal conductivity $k(r)$, respectively, one obtains

$$\text{Pr}_{eff}(r) = A_{Pr} \left(\frac{r}{a} \right)^m + B_{Pr} \quad (16)$$

with

$$A_{Pr} = \frac{E_0 (\text{Pr}_0 - \text{Pr}_1)}{E_0 - E_1}, \quad B_{Pr} = \frac{E_0 \text{Pr}_1 - E_1 \text{Pr}_0}{E_0 - E_1} \quad (17)$$

where $Pr = \alpha, \rho, \sigma_y$, and k , respectively. It is assumed that the Poisson's ratio ν is assumed to be constant. The properties of materials are connected to the radial coordinate.

Basic equations for FGM beam can be obtained. First, using Eqs. (11), (14), (16), (17) and $\varepsilon_z = 0$, the axial stress as follows

$$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\theta) - E_0 \left(\frac{r}{a}\right)^m \left[\left(A_\alpha \left(\frac{r}{a}\right)^m + B_\alpha \right) T \right]. \quad (18)$$

integration of relation (Eq. 7) gives

$$\nu = rf \quad (19)$$

where f is a function of θ only. Then, differentiating Eq. (6) with respect to θ and taking into account that both θ and u depend on r only, one obtains

$$\frac{\partial^2 \nu}{\partial \theta^2} = 0 \quad (20)$$

and hence;

$$\nu = C_1 r \theta \quad (21)$$

with the (non-dimensional) constant of integration C_1 . Hence, based on Eqs. (5), (6), and Hooke's law (9), (10), σ_r , and σ_θ can be expressed in terms of u and its derivative with respect to r (denoted by a prime),

$$\sigma_r = \frac{E_0 \left(\frac{r}{a}\right)^m}{(1+\nu)(1-2\nu)} \left[\begin{array}{l} \frac{\nu u}{r} + (1-\nu)u' + \nu C_1 \\ -(1+\nu) \left(A_\alpha \left(\frac{r}{a}\right)^m + B_\alpha \right) T \end{array} \right], \quad (22)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E_0 \left(\frac{r}{a}\right)^m}{(1-2\nu)} \left[\begin{array}{l} \frac{(1-\nu)u}{(1+\nu)r} + \frac{C_1(1-\nu) + \nu u'}{1+\nu} \\ - \left(A_\alpha \left(\frac{r}{a}\right)^m + B_\alpha \right) T \end{array} \right]. \quad (23)$$

where σ_r and σ_θ radial and circumferential stresses, respectively. Eqs. (22) and (23) are substituted in Eq. (8) to obtain the differential equation for displacement.

$$r^{1+m}u'' + (1+m)r^m u' - \frac{r^{-1+m} [1-\nu(1+m)]u}{1-\nu} = \frac{r^m}{1-\nu} \left[C_1 [1-\nu(2+m)] + m \left(2A_\alpha \left(\frac{r}{a} \right)^m + B_\alpha \right) \right] \times (1+\nu)T + r \left(A_\alpha \left(\frac{r}{a} \right)^m + B_\alpha \right) (1+\nu)T' \quad (24)$$

Its solution is

$$u = C_2 r^{-(m+S)/2} + C_3 r^{-(m-S)/2} + \frac{C_1 r [1-\nu(2+m)]}{m} - \frac{1+\nu}{2S(1-\nu)a^m r^{(m+S)/2}} \times \left[\begin{aligned} & (2-m-S)r^S \left(a^m B_\alpha \int_a^r \xi^{(m-S)/2} T d\xi + A_\alpha \int_a^r \xi^{(3m-S)/2} T d\xi \right) \\ & - (2-m+S) \left(a^m B_\alpha \int_a^r \xi^{(m+S)/2} T d\xi + A_\alpha \int_a^r \xi^{(3m+S)/2} T d\xi \right) \end{aligned} \right] \quad (25)$$

where C_2 and C_3 are constants of integration, and

$$S = \sqrt{4 + m^2 - \frac{4m\nu}{1-\nu}} \quad (26)$$

Thereof, solving Eqs. (22) and (23), one finally obtains

$$\sigma_r = \frac{C_1 E_0 \left(\frac{r}{a} \right)^m}{m(1+\nu)} + \frac{E_0 r^{-(2+m-S)/2}}{2a^m (1+\nu)(1-2\nu)} \times \left\{ C_3 [(2+m+S)\nu - m - S] + C_2 r^S [(2+m-S)\nu - m + S] \right\} + \frac{E_0 r^{-(2+m-S)/2}}{2Sa^2 m (1-\nu)} \left[\begin{aligned} & (2+m-S)r^S \left(a^m B_\alpha \int_a^r \xi^{(m-S)/2} T d\xi + A_\alpha \int_a^r \xi^{(3m-S)/2} T d\xi \right) \\ & - (2+m+S) \left(a^m B_\alpha \int_a^r \xi^{(m+S)/2} T d\xi + A_\alpha \int_a^r \xi^{(3m+S)/2} T d\xi \right) \end{aligned} \right] \quad (27)$$

$$\begin{aligned}
\sigma_\theta = & \frac{C_1 E_0 (1+m) \left(\frac{r}{a}\right)}{m(1+\nu)} - \\
& \frac{E_0 \left\{ C_3 r^{-(2+m+S)/2} [(2+m+S)\nu - 2] + C_2 r^{-(2+m-S)/2} [(2+m-S)\nu - 2] \right\}}{2(1+\nu)(1-2\nu)a^m} \\
& + \frac{E_0 r^{-(2+m-S)/2}}{4S(1+\nu)(1-2\nu)a^{2m}} \\
& \times \left\{ r^S [(m+S-2)(2+(S-m-2)\nu)] \left(a^m B_\alpha \int_a^r \xi^{(m-S)/2} T d\xi + A_\alpha \int_a^r \xi^{(3m-S)/2} T d\xi \right) \right. \\
& \left. + [(m-S-2)(-2+(2+m+S)\nu)] \left(a^m B_\alpha \int_a^r \xi^{(m+S)/2} T d\xi + A_\alpha \int_a^r \xi^{(3m+S)/2} T d\xi \right) \right\} \\
& - 4Sr^{(2+m+S)/2} (a^m B_\alpha + r^m A_\alpha) (1-2\nu)T
\end{aligned} \tag{28}$$

and σ_z obtained from Eq. (18).

In the above basic equations, the three constants of integration, C_1 , C_2 and C_3 , must be determined. For the determination of these unknowns, the conditions Eqs. (1)-(3) are available. These conditions lead to

$$\begin{aligned}
C_1 = & \frac{m(1+\nu)(1-2\nu)}{a^m L_1 (1-\nu)S} \\
& \times \left\{ 2L_3 (a^S - b^S) + L_2 \left[a^S (m-S - (2+m-S)\nu) - r_0^S (m+S - (2+m+S)\nu) \right] \right\}
\end{aligned} \tag{29}$$

$$\begin{aligned}
C_2 = & - \frac{(1+\nu)}{2a^m L_1 (1-\nu)S \left\{ a^S [m-S - (2+m-S)\nu] - r_0^S [m+S - (2+m+S)\nu] \right\}} \\
& \times \left\{ [m+S - (2+m+S)\nu] L_1 L_3 \right. \\
& + 2 \left[2a^{(2+m+S)/2} (1-2\nu) + r_0^{(2+m+S)/2} [1 - (2+m)\nu] [m+S - (2+m+S)\nu] \right] \\
& \times (1-2\nu) \left\{ 2L_3 (a^S - b^S) + L_2 \left[r_0^S [m+S - (2+m+S)\nu] \right. \right. \\
& \left. \left. - a^S [m-S - (2+m-S)\nu] \right] \right\} \left. \right\}
\end{aligned} \tag{30}$$

$$\begin{aligned}
C_3 = & \frac{a^{(-2m+S)/2} (1+\nu)}{2SL_1 (1-\nu) \left\{ a^S [m-S - (2+m-S)\nu] - r_0^S [m+S - (2+m+S)\nu] \right\}} \\
& \times \left\{ a^{S/2} [m-S - (2+m-S)\nu] L_1 L_3 \right. \\
& - 2r_0^{S/2} \left[2a^{(2+m)/2} (1-2\nu) + a^{S/2} [1 - (2+m)\nu] [m-S - (2+m-S)\nu] \right] \\
& \times (1-2\nu) \left\{ 2L_3 (a^S - b^S) + L_2 \left[a^S [m-S - (2+m-S)\nu] \right. \right. \\
& \left. \left. - r_0^S [m+S - (2+m+S)\nu] \right] \right\} \left. \right\}
\end{aligned} \tag{31}$$

where;

$$L_1 = \{b^S [m - S - (2 + m - S)v] - r_0^S [m + S - (2 + m + S)v]\} \times \{2a^{(2+m+S)/2} (1 - 2\nu) + r_0^{(2+m+S)/2} (1 - (2 + m)v) [m + S - (2 + m + S)v]\} \quad (32)$$

$$L_2 = b^S (2 - m - S) \left[a^m B_\alpha \int_a^b r^{(m-S)/2} T dr + A_\alpha \int_a^b r^{(3m-S)/2} T dr \right] - (2 + m + S) \left[a^m B_\alpha \int_a^b r^{(m+S)/2} T dr + A_\alpha \int_a^b r^{(3m+S)/2} T dr \right] \quad (33)$$

$$L_3 = r_0^S (2 - m - S) \left[a^m B_\alpha \int_a^{r_0} r^{(m-S)/2} T dr + A_\alpha \int_a^{r_0} r^{(3m-S)/2} T dr \right] - (2 - m + S) \left[a^m B_\alpha \int_a^{r_0} r^{(m+S)/2} T dr + A_\alpha \int_a^{r_0} r^{(3m+S)/2} T dr \right] \quad (34)$$

In this way, after the temperature field is determined, the strain and stress in the beam can be known. Furthermore, by substituting the circumferential stress σ_θ given in Eqs. (28) and (4), couple moment M is expressed as follows;

$$M = \frac{E_0}{a^m (1 + \nu)} \left\{ \frac{C_1 (1 + m)}{m(2 + m)} (b^{2+m} - a^{2+m}) + \frac{C_2 [(2 + m - S)v - 2]}{(2 + m + S)(1 - 2\nu)} \right. \\ \left. \times (a^{(2+m+S)/2} - b^{(2+m+S)/2}) - \frac{C_3 [(2 + m + S)v - 2]}{(2 + m - S)(1 - 2\nu)} (a^{(2+m-S)/2} - b^{(2+m-S)/2}) \right\} \quad (35) \\ + \frac{E_0}{2Sa^{2m} (1 - \nu)^2} \{ [m + S - 2 + (2 + m - S)v] \\ \times \left[a^m B_\alpha \int_a^b r^{(m+S)/2} \left(\int_a^r \xi^{(m-S)/2} T d\xi \right) dr + A_\alpha \int_a^b r^{(m+S)/2} \left(\int_a^r \xi^{(3m-S)/2} T d\xi \right) dr \right] \\ + [2 - m + S - (2 + m + S)v] \\ \times \left[a^m B_\alpha \int_a^b r^{(m-S)/2} \left(\int_a^r \xi^{(m+S)/2} T d\xi \right) dr + A_\alpha \int_a^b r^{(m-S)/2} \left(\int_a^r \xi^{(3m+S)/2} T d\xi \right) dr \right] \\ \left. - \frac{E_0}{a^{2m} (1 - \nu)} \left(B_\alpha \int_a^b r^{1+m} T dr + A_\alpha \int_a^b r^{1+2m} T dr \right) \right\}$$

2.3 Temperature Field

When the temperature change is regarded as steady state, the temperature increase of inner or outer surfaces is thought to increase slowly and is calculated independently from time. In this case, it is governed by the differential equation (Peng and Li; 2010).

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[rk(r) \frac{dT(r)}{dr} \right] = 0 \quad (36)$$

With the dependence of the thermal conductivity on the radius given by Eqs. (16) and (17), its solution is

$$T(r) = \frac{D_1 \left\{ m \ln(r) - \ln \left[A_k \left(\frac{r}{a} \right)^m + B_k \right] \right\}}{mB_k} + D_2 \quad (37)$$

where D_1 and D_2 are constants of integration. When the surface temperature at the inner and outer sides is prescribed as;

$$T(a) = T_a \quad T(b) = T_b \quad (38)$$

and give rise to

$$T(r) = \frac{\left\{ m \ln(r/b) + \ln \left[A_k (b/a)^m + B_k \right] - \ln \left[A_k (r/a)^m + B_k \right] \right\} T_a}{-m \ln(b/a) - \ln[A_k + B_k] + \ln \left[A_k (b/a)^m + B_k \right]} + \frac{\left\{ -m \ln(r/a) + \ln \left[A_k (r/a)^m + B_k \right] - \ln[A_k + B_k] \right\} T_b}{-m \ln(b/a) - \ln[A_k + B_k] + \ln \left[A_k (b/a)^m + B_k \right]} \quad (39)$$

3. STRESS DISTRIBUTIONS AND EFFECT OF EXPONENTIAL PARAMETER

With the equations obtained above, the stresses can be calculated. The von Mises yield criterion was used to determine the elastic limits and as follows;

$$\sigma_M(r) = \sigma_y(r), \quad \sigma_M = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2]} \quad (40)$$

Now, introducing the following non-dimensional quantities:

$$\bar{k} = \frac{k}{k_0}, \quad \bar{r} = \frac{r}{a}, \quad \bar{E} = \frac{E}{E_0}, \quad \bar{M} = \frac{M}{a^2 \sigma_{y,0}} \quad (41)$$

$$\bar{T} = \frac{\alpha_0 E_0 T}{\sigma_{y,0}}, \quad \bar{\alpha} = \frac{\alpha}{\alpha_0}, \quad \bar{\sigma}_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_{y,0}}, \quad \bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (42)$$

where, it should be remembered that the pure FGM component of index 0, $r = a$, represents a material parameter. The exponential grading index m_{ext} in the FGM beam is as follows;

$$m_{ext} = \frac{\ln(\bar{E}_1)}{\ln(b)}. \quad (43)$$

Thus, depending on whether $E_1 > 1$ or $E_1 < 1$, there hold the relations $0 < m \leq m_{ext}$ or $m_{ext} \leq m < 0$ respectively.

3.1 Positive, Homogeneous and Negative Temperature Gradient

Stress analysis for different temperature states of the aluminum/steel cylindrically curved FGM beam have been investigated analytically. Stress distributions are calculated according to different surface temperature conditions. To calculate numerically these equations, material properties and surface radius ratios are specified. In particular, a beam with radii ratio $b/a=1.25$, Poisson's ratio $\nu=0.3$, and $E_1/E_0=2.86$, $\alpha_1/\alpha_0=0.72$, $k_1/k_0=0.21$, $\sigma_{y,1}/\sigma_{y,0}=6.67$, $\rho_1/\rho_0=2.86$ is obtained.

These surface temperature differences ($\Delta T = T_b - T_a$) have been investigated in accordance with the exponential parameter m , $\Delta T > 0$, $\Delta T = 0$ and $\Delta T < 0$. Fig.2a presents the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 1.60$, $\bar{T}_a = 0$ and $\Delta \bar{T} = 1.683$ the elastic limits in the curved FGM beam. The radial displacement is equal to zero where the center of curvature of the beam is the same as in equation 3. In addition, the radial stress is equal to zero as indicated in Eqs.1, 2 on the inner and outer surfaces of the beam. Circumferential and radial stresses vary from positive to negative. The volume ratio of the aluminum on the outer surface of the beam is calculated as 76.9% and the volume ratio of steel as 23.1%. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.2b shows the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 1.60$, $\bar{T}_a = 1.026$ and $\Delta \bar{T} = 0$ the elastic limits in the curved FGM beam. Angular stress and radial displacement vary linearly from negative to positive value. The axial stress is negative. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.2c determines the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 1.60$, $\bar{T}_a = 0.885$ and $\Delta \bar{T} = -0.885$ the elastic limits in the curved FGM beam. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.3a shows the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 2.40$, $\bar{T}_a = 0$ and $\Delta \bar{T} = 1.728$ the elastic limits in the

curved FGM beam. The volume ratio of the aluminum on the outer surface of the beam is calculated as 61.8% and the volume ratio of steel as 38.2%. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.3b presents the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 2.40, \bar{T}_a = 1.026$ and $\Delta\bar{T} = 0$ the elastic limits in the curved FGM beam. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.3c presents the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 2.40, \bar{T}_a = 0.879$ and $\Delta\bar{T} = -0.879$ the elastic limits in the curved FGM beam. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.4a determines the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 3.20, \bar{T}_a = 0$ and $\Delta\bar{T} = 1.807$ the elastic limits in the curved FGM beam. The volume ratio of the aluminum on the outer surface of the beam is calculated as 43.8% and the volume ratio of steel as 56.2%. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.4b shows the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 3.20, \bar{T}_a = 1.025$ and $\Delta\bar{T} = 0$ the elastic limits in the curved FGM beam. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam. Fig.4c presents the stresses, circumferential and radial displacements for $m = 3.20, \bar{T}_a = 0.875$ and $\Delta\bar{T} = -0.875$ the elastic limits in the curved FGM beam. The onset of the yield would occur at the inner surface of curved FGM beam.

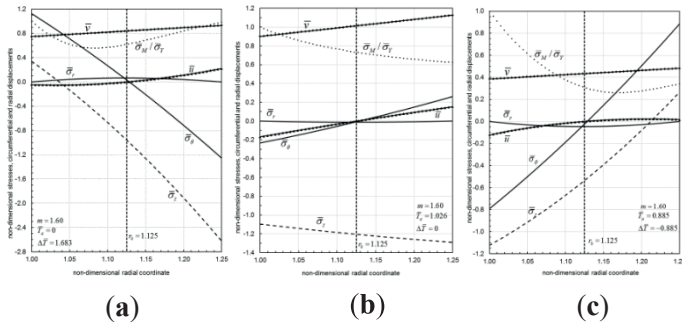


Figure 2. The distribution of stresses, circumferential, radial displacements and elastic limits for $m = 1.60$ (a) Positive temperature (b) Homogenous temperature (c) Negative temperature

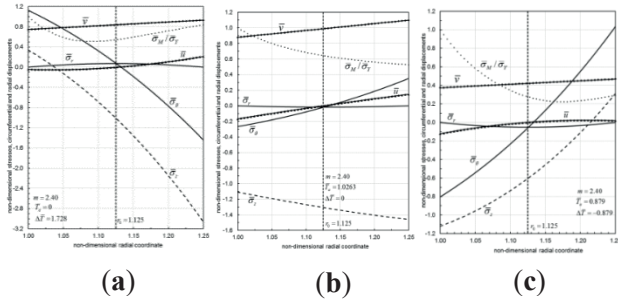


Figure 3. The distribution of stresses, circumferential, radial displacements and elastic limits for $m = 2.40$ (a) Positive temperature (b) Homogenous temperature (c) Negative temperature

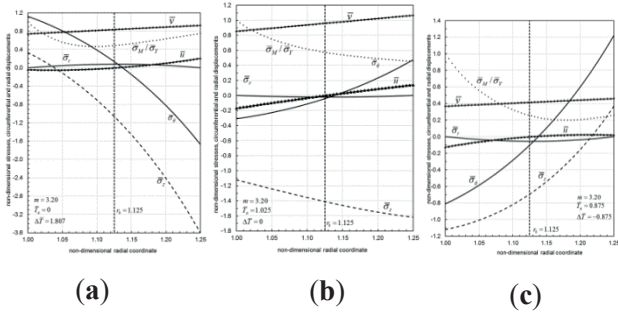


Figure 4. The distribution of stresses, circumferential, radial displacements and elastic limits for $m = 3.20$ (a) Positive temperature (b) Homogenous temperature (c) Negative temperature

4. CONCLUSION

In this study, an analytical solution is investigated the stress analysis of the Aluminum/Steel curved FGM beam in the plane strain state under temperature in radial direction. It is considered that the temperature distribution changes as a function of the radial coordinate and is in steady state. The modulus of elasticity varies with the thickness of the beam according to the power law. Accordingly, by applying the general mixture law, the thermal expansion, the heat transfer coefficient and the volume fraction vary depending on the exponential parameter (except Poisson ratio).

In particular, the effect of the exponential parameter values has been studied in detail, taking into account the radial direction of

all properties of the materials (except for Poisson's ratio), depending on the general mixture law. It has been found that depending on the FGM beam exponential parameter, the elastic limit can be reached increasing temperature gradient at the inner surface, at the outer surface, or at both surfaces simultaneously.

Finally, although the closed-form solution given above requires certain assumptions for boundary conditions, it is quite remarkable that the remaining numerical effort is limited to the integration of the terms, which mainly include the analytically derived temperature field.

Acknowledgments: This work is supported by Sirnak University Research Fund (BAP), Project no: 2017.03.05.01.

REFERENCES

- Arslan, E., & Mack, W. (2014). Elastic-plastic states of a radially heated thick-walled cylindrically curved panel. *Forschung im Ingenieurwesen*, 78(1-2), 1-11.
<https://doi.org/10.1007/s10010-014-0170-1>
- Arslan, E., & Eraslan, A. N. (2010). Analytical solution to the bending of a nonlinearly hardening wide curved bar. *Acta Mechanica*, 210(1-2), 71-84.
<https://doi.org/10.1007/s00707-009-0195-y>
- Dadras, P. (2001). Plane strain elastic-plastic bending of a strain-hardening curved beam. *International journal of mechanical sciences*, 43(1), 39-56.
[https://doi.org/10.1016/S0020-7403\(99\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7403(99)00102-2)
- Duc, N. D., & Van Tung, H. (2010). Nonlinear response of pressure-loaded functionally graded cylindrical panels with temperature effects. *Composite Structures*, 92(7), 1664-1672.
<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.11.033>
- Dryden, J. (2007). Bending of inhomogeneous curved bars. *International Journal of Solids and Structures*, 44(11-12), 4158-4166.
<https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2006.11.021>
- Eraslan, A. N., & Arslan, E. (2008). A concise analytical treatment of elastic-plastic bending of a strain hardening curved beam. *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechan-*

ics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik: Applied Mathematics and Mechanics, 88(8), 600-616.

<https://doi.org/10.1002/zamm.200600037>

Eraslan, A. N., & Akis, T. (2006). On the plane strain and plane stress solutions of functionally graded rotating solid shaft and solid disk problems. *Acta Mechanica*, 181(1-2), 43-63.

<https://doi.org/10.1007/s00707-005-0276-5>

Kiani, Y., Shakeri, M., & Eslami, M. R. (2012). Thermoelastic free vibration and dynamic behaviour of an FGM doubly curved panel via the analytical hybrid Laplace–Fourier transformation. *Acta Mechanica*, 223(6), 1199-1218.

<https://doi.org/10.1007/s00707-012-0629-9>

Librescu, L., Nemeth, M. P., Starnes Jr, J. H., & Lin, W. (2000). Nonlinear response of flat and curved panels subjected to thermomechanical loads. *Journal of thermal stresses*, 23(6), 549-582. <https://doi.org/10.1080/01495730050143134>

Mohammadi, M., & Dryden, J. R. (2008). Thermal stress in a non-homogeneous curved beam. *Journal of Thermal Stresses*, 31(7), 587-598.

<https://doi.org/10.1080/01495730801978471>

Peng, X. L., & Li, X. F. (2010). Thermal stress in rotating functionally graded hollow circular disks. *Composite Structures*, 92(8), 1896-1904.

<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2010.01.008>

Shaffer, B. W., & House Jr, R. N. (1957). Displacements in a wide curved bar subjected to pure elastic-plastic bending. *J. Appl. Mech. Trans. ASME*, 24, 447-452.

Shaffer, B. W., & House, R. N. (1954). *The elastic-plastic stress distribution within a wide curved bar subjected to pure bending*. NEW YORK UNIV BRONX SCHOOL OF ENGINEERING AND SCIENCE.

Timoshenko, S.P. and Goodier, J.N. (1970) *Theory of Elasticity*, 3rd ed. McGraw-Hill, New York.

Afyonkarahisar Bölgesinde Tesis Edilen Gerçek Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Gölge Analizi Yapılması

Erol Ayaz ^{1*}, Fatih Onur Hocaoglu ²

¹ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı; erolayaz-43@hotmail.com

² Afyon Kocatepe Üniversitesi; fohocaoglu@gmail.com

* Sorumlu Yazar; erolayaz-43@hotmail.com

Gönderme tarihi: 03/05/2019

Kabul tarihi: 25/06/2019

ÖZET

Güneş enerjisi sistemleri günümüzde fosil yakıtların olumsuz çevresel etkileri ve ömürlerinin azalması nedeniyle günümüzde oldukça popüler hale gelmiştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerin maliyetleri gün geçtikçe her ne kadar düşüyor olsa da, konvansiyonel kaynaklarla kıyaslandığında kurulum maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle, bu tür sistemler tesis edilirken sahadaki verimlerini artırıcı önlemler alınmalıdır. Güneş takip sistemleri, maksimum güç noktası izleyicilerinin kullanılması sistemlerin verimini olumlu yönde etkilemektedir. Ancak, sistemlerin tesis edileceği bölgenin çevresel şartları ve olası gölgelenmeler de güneş enerjisi sistemlerinin verimlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu çalışmada gölge analizinin önemi vurgulanmış ve örnek bir proje üzerinde gölge analizinin doğru yapılmaması ve/veya sistemin doğru konumlandırılmaması durumunda güneş panellerinden üretilecek olan enerji miktarının değişimi analiz edilerek elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şebekeden Bağımsız Sistemler; Gölge Analizi

Shadow Analysis of a Real Solar Energy System in Afyonkarahisar Region

ABSTRACT

Solar energy systems have become popular today due to the negative environmental impacts of fossil fuels and their reduced life span. Although the costs of the systems that produce electricity from solar energy are falling day by day, the installation costs are quite high compared to conventional sources. Therefore, measures should be taken to increase their efficiency in the field when such systems are installed. The use of solar tracking systems, maximum power point monitors positively affects the

efficiency of the systems. However, the environmental conditions and possible shadings of the area where the systems will be installed significantly reduce the efficiency of solar energy systems. In this study, the importance of shadow analysis was emphasized and the results obtained by analyzing the change in the amount of energy to be produced from the solar panels in case of correct analysis of the shadow analysis and / or correct positioning of the system on a sample project were interpreted. has become. Although the costs of the systems that produce electricity from solar energy are falling day by day, the installation costs are quite high compared to conventional sources. Therefore, measures should be taken to increase their efficiency in the field when such systems are installed. The use of solar tracking systems, maximum power point monitors positively affects the efficiency of the systems. However, the environmental conditions and possible shadings of the area where the systems will be installed significantly reduce the efficiency of solar energy systems. In this study, the importance of shadow analysis was emphasized and if the shadow analysis was not performed correctly on a sample project and / or the system was not positioned correctly, then the results obtained were analyzed by analyzing the change in the amount of energy to be produced from the solar panels.

Keywords: Off-Grid Systems; Shadow Analysis

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde oldukça önemli bir hale gelmiştir. Güneş enerjisi en gözde enerji kaynağıdır. Bunun başlıca nedeni güneş enerjisinin oldukça kolay erişilebilir olmasıdır. Ayrıca güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerin kurulumu ve devreye alınması kolaydır. Günümüzde bu tür sistemlerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Devletlerin teşvik ve desteği ile şebekeye bağlı hale getirilebilmeleri sayesinde depolama maliyetlerinin de ortadan kalkması ve kullanılmayan enerjinin şebekeye satılabilmesi de mümkün hale gelmiştir. Ancak her ne kadar kullanımları yaygınlaşmış olsa da kurulum maliyetleri halen yüksektir ve verimleri düşüktür. Güneş panellerinin üretim esnasında ve sahada verimlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Güneş Enerjisi sistemlerinin performansının artırılması için sahada verimleri artıran güneş takip sistemleri ve maksimum güç noktası izleyicileri kullanılmaktadır. Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada farklı fotovoltaik (PV) panellerin etkinliklerini en üst düzeye çıkarmak yeni bir güneş takip sistemi önerilmiştir. Sistem mekanik ve kontrol kısımdan oluşmaktadır.

Sistemin mekanik kısmı hem dikey hem de yatay eksenlerde hareket etme özelliğine sahiptir. Bu bölümde servo motorlar seçilmiş ve kullanılmıştır. Öte yandan, kontrol kısmı uzaktan erişim sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemin kontrol stratejisi, arzu edildiğinde kolaylıkla değiştirilmektedir. Bu durum farklı kontrol algoritmalarının test edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, farklı teknolojilerle üretilen farklı PV panelleri sistem üzerinde test edilir. İzleme sisteminden elde edilen PV panellerin elektrik üretim çıktıları sabit PV panellerinden elde edilen çıktılarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı kontrol stratejilerinin karşılaştırmalı sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır (Çınar ve ark., 2014). Diğer bir çalışmada fotovoltaik sistemlerde güneşi en iyi şekilde takip eden sistemlerin oluşturulabilmesi için matematiksel bir denklem geliştirilerek, dağınık ve yansıyan güneş ışınlarının bu sayede kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Böylece dağınık ve yansıyan ışınımın kullanılabilir olduğu PV sistemlerinin doğru konumlandırılması ile optimizasyonun mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Fernández-Ahumada ve ark., 2017). Bir diğer çalışmada güneş panellerinin hareketini sağlamak için robotik sensörler kullanılmışlar ve bu sistemler üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir (Flores-Hernández ve ark., 2017).

Literatürdeki çalışmalarda bir yandan güneş takip edilip sistem performansı artırılmaya çalışılırken diğer taraftan da güneşi enerji harcamadan takip etme fikirleri ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda yapılan başka bir çalışmada güneş ışınımına endeksli sürücülü bir metal hidrit(MH) aktüatör kullanılarak, elektriksiz bir güç kaynağı ile enerji harcamadan güneş takip sistemi geliştirilmiştir (Obara ve ark., 2017).

Öncelikle güneş takip edilerek sistem performansının artırılmasının amaçlandığı literatürde, takip sırasında fazla enerji harcandığı tespit edildikten sonra, enerji tüketmeyen ya da minimum enerji harcayacak yeni sistemler üzerinde yapılan bir çalışmada sıcaklık etkisine bağlı kayıpların azaltılması hedeflenmiş ve güneş hücrelerini aktif olarak soğutmak için, PV panelinin arkasına düzgün hava akımı dağılımı için tasarlanmış bir giriş/çıkış manifoldu bulunan paralel bir kanal dizisi eklenerek güneş hücrelerinin verimliliğinde %12 ile %14 arasında bir artış sağlandığı tespit edilmiştir (Teo ve ark., 2012). Başka bir çalışmada ise güneş hücrelerinin iç yapısını değiştirmeden panel yüzeyine su içerikli film kaplama işlemi ile

soğutma uygulanarak sistem performansının artırılması hedeflenmiştir (Schiro ve ark., 2017). Diğer bir çalışmada ise güneş panellerinin açısı ayarlanarak doğal havalandırma yapılmaya çalışılmış ve sıcaklık etkisinin azaltılması hedeflenerek 30 derece açıda doğal havalandırmadan maksimum performans elde edildiği görülmüştür (Charfi ve ark., 2018).

Yukarıda bahsedilen GES sistemlerindeki kayıplardan başka diğer bir kayıp şekli de gölge etkisidir. Gölgeleme literatürde üzerinde çok çalışılan konulardan birisidir. Gölgeye maruz kalan bir hücrenin üreteceği enerji miktarı önemli ölçüde azalmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, bulut gölgelerinin kenarlarının neden olduğu gölge boylarının ortalama 150 m uzunluğa sahip olduğunu ve en büyük güneş enerjisi santrallerinin bile bu gölgelerden çok etkilendiğini gözlemlenmiştir. Santrallerin kurulumu sırasında yapılan yerleştirme hatalarına ek olarak, bu gölgelenmelerin de maksimum güç noktası izlemede başarısızlıklara neden olduğu ve güneş enerjisi sistemlerinin çıkış gücünde önemli dalgalanmalara neden olabildiğini tespit etmişlerdir (Lappalainen ve Valkealahti, 2017). Diğer bir çalışmada kısmi gölgelemenin polikristal ve monokristal PV modüllerin çalışmasına etkisi araştırılmış ve güneşli günlerde fotovoltaik modüllerin akım-voltaj ve güç-voltaj eğrilerinin ölçümlerinden oluşan deneyler hem gölgesiz hem de gölgelendirme profilleri uygulanarak gerçekleştirilmiş ve sonuçta, bir mono-kristal PV modülünün %50'si gölgelendirildiğinde güç üretiminin % 30'a kadar azalabildiği görülmüştür (Dolara ve ark., 2013). Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerin üreteceği enerji miktarının doğru tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Güneş enerji sistemlerinin üreteceği enerji miktarını etkileyen en önemli faktör ışınım şiddeti parametresidir. Literatürde ışınım şiddetini doğru tahmin eden çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışmada saatlik güneş ışınım şiddetinin tahmin edebilmek amacıyla yeni bir hibrit model (Mycielski-Markov) geliştirilmiştir (Hocaoğlu ve Serttaş, 2017).

Bu çalışmada 2. bölümde bu konuda yapılan çalışmalar ile şebekeden bağımsız çalışan tipik bir güneş enerjisi sistemi ve bileşenleri sunulmuştur. Ayrıca bir güneş enerjisi sisteminin çalışmasını etkileyen sistem bileşenleri ve bunların doğru seçimi üzerinde

durulmuştur. Diğer taraftan gerçek bir sistem PVsyst programında 3 boyutlu olarak modellenip sistemin gölge analizi yapılmıştır. 3. bölümde PVsyst programında modellenen gerçek sistemin gölgelemeye bağlı enerji kayıpları ortaya konulmuş ve son olarak 4. bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Şebekeden Bağımsız Çalışan Tipik Bir Güneş Enerjisi Sistemi ve Bileşenleri

Şebeke elektriği olmamasına karşın elektriğe gereksinim duyulan lokasyonlarda şebekeden bağımsız akülerle donatılmış sistemler kullanılmalıdır. Akülü ve şebeke ile bağlantısız olarak çalışan sistemlerde 4 farklı cihaz vardır: İntertör ve Akü Gurubu, Güneş Paneli, Şarj Kontrol Cihazı.

2.1.1 İntertör (Evirici)

Güneş paneli doğru gerilim üretir ve üretilen gerilim intertörler yardımıyla akülerden alıp alternatif akıma çevrilir.

2.1.2 Aküler

Kimyasal formda elektriği depolayabilen ve ihtiyaç duyulduğu anda bu enerji formunun elektrik enerjisi olarak kullanılabilmesine olanak sağlayan aygıtlara akü denir.

2.1.3 Güneş Paneli

Foton ışına prensibine göre çalışarak güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. Güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi genellikle akülere depolanır.

2.1.4 Akü Şarjını Kontrol Eden Cihazlar

Güneş modüllerinden foton ışına yöntemi ile elde edilen voltajı gereken düzeye düşürmek için kullanılan cihazlardır.



Şekil 1. Şebekeden bağımsız bir sistemin şematik gösterimi (Koroğlu ve ark., 2010)

Şebekeden bağımsız sistemler projelendirilirken dikkat edilmesi gereken bir takım detaylar şöyle sıralanabilir.

1. Gün içerisinde hangi elektrikli cihazın kaç saat boyunca çalıştığı ve bu cihazların saat başına ne kadar tüketiminin olduğu belirlenerek total tüketim ortaya konmalıdır.
2. GES projesinin yapılması düşünülen bölgenin ne kadar güneş aldığı ve ışınım parametreleri hesaba katılarak kurulacak olan sistemin boyutlandırılması yapılmalıdır.
3. Diğer bir sistem bileşeni olan akülerin şarj seviyesini kontrol altında tutan cihazın boyutları belirlenmelidir.
4. İnvertör büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir.
5. Akü sayısı, büyüklüğü belirlenmelidir.
6. Projenin yapılması planlanan alanda muhtemel gölgelenmeler düşünülerek gölge analizi yapılmalıdır.
7. Uygun nitelikte malzemeler (çelik konstrüksiyon, beton, kablolama,) projede kullanılmak üzere belirlenmelidir.

Bu çalışmada 6 numaralı maddenin dikkate alınmadığı gerçek bir sistem ele alınmış ve bu sistemdeki verim kaybı araştırılmıştır.

2.2 Sistem Bileşenlerinin Seçimi

Güneş enerjisini oluşturan bileşenler genellikle yapılan boyutlandırma analiz sonuçlarına göre seçilir. Bir güneş enerjisi sistemi 2. bölümde de bahsedildiği gibi invertörler, bataryalar, güneş panelleri ile şarj kontrol cihazları, ile güneş panellerin üzerinde duracağı beton ayakları olan çelik konstrüksiyondan oluşur.

2.2.1 İnverterler

Çizelge 1’de karşılaştırmalı olarak verilen inverterler aşağıdaki özelliklerine ve kullanım alanlarına göre seçilir.

- **Sinüs İnverter (Modifiye)**

Güneş panellerinden elde edilen DC gerilim şekli olan kare dalga şekillerinin adetlerini artırmak suretiyle gerilim şeklini sinüs dalgaya benzetmeye çalışan cihazlardır. Aydınlatma sistemlerinde ve bazı aletlerin sıkıntısız çalışmaları için uygundur. Fakat zamanla kullanılan elektronik ürünlerin arızalanmasına ve ömürlünün azalmasına yol açabilirler.

- **Tam Sinüs İnverter**

Adından da anlaşılacağı üzere tam bir sinüs dalgası üretirler. Bu tip cihazlar AC olarak çalışan içinde motor barındıran tam sinüse ihtiyaç duyan evsel ya da endüstriyel cihazların off-grid uygulamalarında kullanılırlar.

- **Tam Sinüs Akıllı İnverter**

Akıllı tam sinüs inverterler, tam sinüs özelliği sayesinde tüm sistemlerde kullanılır. Akıllı inverterler kendi içerisinde şarj kontrol özelliği ile akülerinizin doluluk oranını takip edebilirsiniz. Ayrıca şebekeden akülerinizi şarj edebilme özelliğine de sahiptir. Çizelge 1’de inverterlerin karşılaştırmalı biçimleri verilmiştir.

Tablo 1. Farklı Tip ve Özellikteki İnverterlerin Karşılaştırılması (Karki ve ark., 2015)

	TAM SİNÜS AKILLI İNVERTÖR	TAM SİNÜS İNVERTÖR	MODİFİYE SİNÜS İNVERTÖR
İNVERTÖR GÜCÜ	1000 W	600 W	600 W
GİRİŞ GERİLİMİ	230 VAC	12 V	12 V
FREKANS	50hertz / 60hertz	50hertz / 60hertz	50hertz / 60hertz
DEMERAJ GÜCÜ	2000 VA	1200 W	1200 W
AŞIRI YÜK KORUMASI	VAR	VAR	VAR
BOYUT(MM)	95x240x316	258x155x55	235x105x555
AĞIRLIK(KG)	5,0	1,6	0,84

2.2.2 Bataryalar

Diğer bir sistem bileşeni olan bataryalar aşağıdaki yapılarda üretilmektedirler.

- **Jel Akü**

Bu tip akülerin içeriğinde sıvıya benzer nitelikte jel bulunur. Değişen iklimsel ve benzeri koşullardan etkilenmeyen özelliktedirler. Bu sebeple GES sistemlerinde öncelikleri bulunmaktadır. Bu tip aküler epey bir müddet enerjisiz kalsa bile boşalmaz ve tekrar kullanılma imkânı sunar.

- **Kuru Akü**

Kuru aküler bakım ihtiyacı olmayan su ve benzeri sıvı içermeyen kapalı şekilde tasarlanmış akülerdir.

- **Sübaplarından Ayarlanabilen Kurşun-Asit Aküler**

İçeriğindeki asit miktarının ayarlanabilen sübaplar sayesinde kontrol altında tutulabilmesi sızıntı veya taşırma ihtimallerinin ortadan kalkması ile güvenilir olma potansiyellerinin artması bu aküleri daha güvenli hale getirmektedir. Ayrıca emisyon miktarlarının

çok az olması güvenilir olmaları için ayrı bir etmenddir. Tamamen boşalma süreleri uzun olduğundan raf ömürleri yeterince fazladır.

- **AGM Akü**

İçeriğinde bulunan elektrolit maddesi seperetörler ile homojen bir karışım oluşturan sübaplarından ayarlanabilen kurşun-asit akülerin bir türüdür.

- **Derin Döngülü Akü**

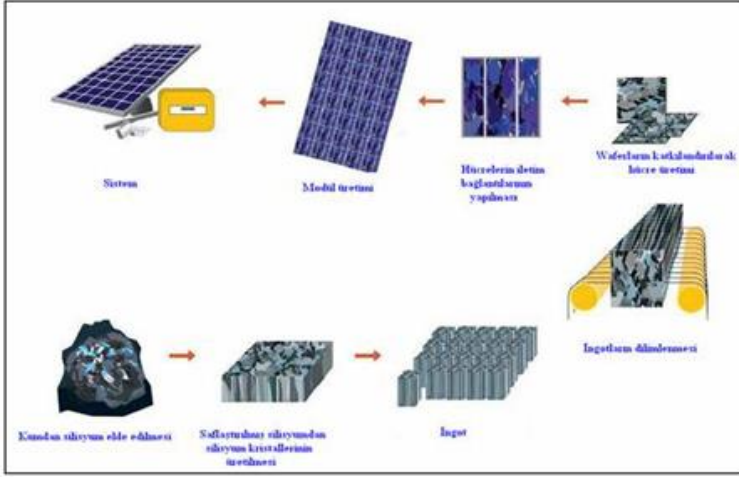
Büyükülüğünün yüzde yirmisine kadar boşaldığı halde kapasitesi azalmayan akülerdir.

2.2.3 Fotovoltaik Modüller

Yarı-iletken bir diyot gibi çalışabilen güneş hücreleri üzerlerine düşen ışığı elektrik enerjisi formuna dönüştürebilen çoğunlukla silisyumdan oluşan malzemelerdir. Değişik şekillerde üretilebilen hücreler farklı boyutlarda yüzey alanına ve kalınlığa sahip olabilirler. Güneş pillerinin üzerlerine düşen güneş ışığı hücreler içerisindeki vipollerin hareketini sağlar ve bu hareket hücreler üzerinde bir gerilim farkı oluşturur. Böylece güneş hücrelerinden elektrik üretilmiş olur. Güneş hücresi üretildiği malzemeye ve içeriğine göre değişik yüzdelerdeki verim oranlarıyla elektrik üretebilir. Daha fazla güç elde etmek amacıyla birden fazla güneş hücresi birbirine bağlanarak panel ya da modül dediğimiz sistemi meydana getirir. Aynı şekilde bu panellerin bağlanmasıyla dize dediğimiz daha büyük güçlü sistemler meydana getirilir.

Tablo 2. Fotovoltaik pillerin verimlilik oranları (www.yegm.gov.tr, 2019)

Güneş Pilinin Cinsi	Verimlilik(%)
Tek Kristalli Silisyum	24
Çok Kristalli Silisyum	17,4
Amorf Silisyum	14,7
Cu/In, Ga/Se ₂	17,75
Cd Te-Cds	15,82
GeAS Mono Kristal	23,9



Şekil 2. Güneş pilinden modüle kadar üretim aşamaları
(www.yegm.gov.tr, 2019)

2.2.4 Akü Şarjını Kontrol Eden Cihazlar

Güneş modüllerinden foton ışınım yoluyla elde edilen voltajı gerekli seviyede tutmak amacıyla kullanılan şarj kontrol cihazları iki gruba ayrılır. Maksimum güç noktasını takip eden aküler verimi artırmak amacıyla tasarlanmıştır.

- **PWM Şarj Kontrol Cihazı:**

Cihaz üzerindeki ekran vasıtasıyla akülerin dolu veya boş olma durumlarının izlenebildiği cihazlardır.

- **Şarj Kontrol Cihazı:**

PWM cihazlardaki gibi sadece izlemenin yapılmadığı, aynı zamanda güç verimliliğinin artırılması amacıyla muhtemel maksimum güç noktasının takibinin gerçekleştirildiği cihazlardır.

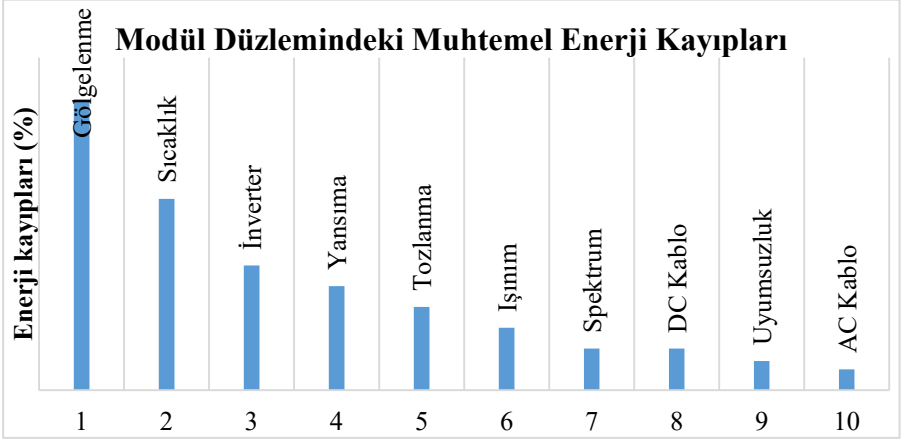
2.3 Gölge Analizi

GES'lerde görülmesi muhtemel kayıplar Şekil 3'teki gibi tozlanma, yansıma, spektrum, ışınım şiddeti, sıcaklık, uyumsuzluk, kablo kayıpları, inverter kayıpları şeklindedir.

Bu kayıpların yanı sıra en büyük enerji kaybı gölgelenmeden kaynaklanmaktadır. Bu bölümde enerji kayıplarından gölgelenme etkisi üzerinde durulmuş ve Afyon bölgesinde yer alan bir okul etrafına

tesis edilen şebekeden bağımsız bir güneş enerjisi sistemi PVsyst yazılımı ile analiz edilmiştir. (Şekil 4).

Yukarıda bahsedilen okul bahçesindeki güneş panellerinin etrafında birçok sayıda ağaç görülmüş ve panellerden bazılarının gölgede kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum analiz edilerek gölgeleme etkisinin, Şekil 3'te bahsedilen muhtemel enerji kayıpları da göz önüne alınarak enerji kayıplarını ne kadar artırdığı ortaya konulmuştur.



Şekil 3. Güneş enerjisi sistemlerindeki muhtemel enerji kayıpları



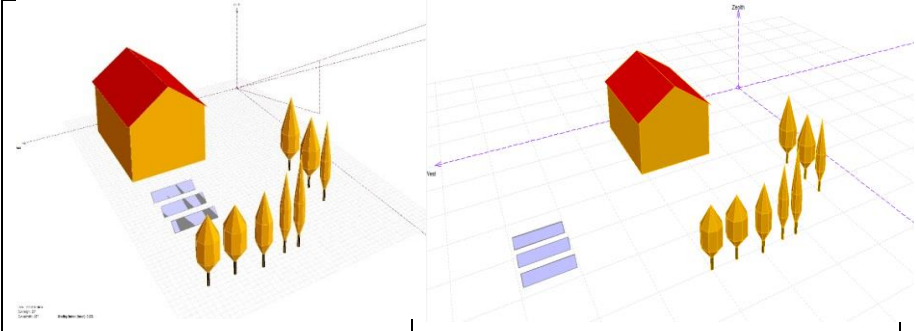
Şekil 4. PVsyst'de 3 boyutlu hazırlanarak gölge analizi yapılan gerçek sistemin fotoğrafı

2.3.1 PVsyst Yazılımının Tanıtımı

PVsyst ve benzeri yazılımlarla fotovoltaik GES'lerin boyutlandırılması yapılarak tasarım sonuçları yorumlanabilmektedir. Bu yazılım ile çeşitli fotovoltaik sistemler oluşturulabilmektedir (Sun, 2011). Gerek şebekeye bağlı gereken şebekeden ayrı sistemler tasarlanabilmektedir (Yadav, 2015). PVsyst paket yazılımını diğer güneş enerjisi sistemi tasarlayan programlardan ayıran en önemli özelliklerden birisi 3 boyutlu tasarım yapılarak gölge yapan cisimlerin sisteme entegre edilerek analiz yapılması ve gölge durumundaki enerji kayıplarının ortaya konulmasının tam olarak sağlanmasıdır. Tasarlanacak sistemde, ya da gerçek bir sistemin simülasyonu sırasında, güneşin doğudan batıya doğru hareketi esnasında ne tarz gölgelerin oluştuğu gerçek zamanlı olarak görülebilmektedir. Bununla birlikte programda çeşitli marka ve özelliklerde invertör, panel bilgileri ile analizi yapılacak bölgenin meteorolojik özellikleri bulunmakta olup, modellenen sistemin yıllık ortalama sonuçlarına ulaşılabilir (Fisher ve ark., 2014). Gerçek sistemimizin teknik ve elektriksel bilgileri programdan seçilmiş ve sistem etrafında gölge nesnelere gerçek boyutlarıyla PVsyst programında 3 boyutlu olarak çizilmiştir.

2.3.2 PVsyst Simülasyon Prosedürü

2.4. bölümde bahsi geçen şebeken bağımsız gerçek bir sistem PVsyst programı kullanılarak analiz edilirken aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır. Tesisin kurulacağı konum Afyonkarahisar olarak seçilmiş ilgili meteorolojik verilerin kullanılması sağlanmıştır. PV modül tipi seçilerek seri ya da paralel bağlantı şekline göre toplam panel sayısı programa girilmiştir. Ayrıca gerçek sistemdeki akü ve invertörler PVsyst veri tabanından bakılarak belirlenmiştir. Gölge nesnelere olan ağaçlar ve okul binası yerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilere göre PVsyst'de "Near Shadings" bölümünden 3 boyutlu olarak oluşturulmuştur. Bu nesnelere oluşturulurken okul mimarisindeki ölçüler ile ağaçların boy, yükseklik, kalınlık gibi fiziksel özellikleri kullanılmıştır. Gerçek sistemimiz PVsyst'de 3 boyutlu olarak oluşturulduktan sonra gölge analizi yapılmıştır(Şekil 5).



Şekil 5. Afyon bölgesindeki bir okulda panellerin okul ve ağaç arasında olduğu gerçekteki durum (gölgelemeye daha fazla maruz kalınan durum)

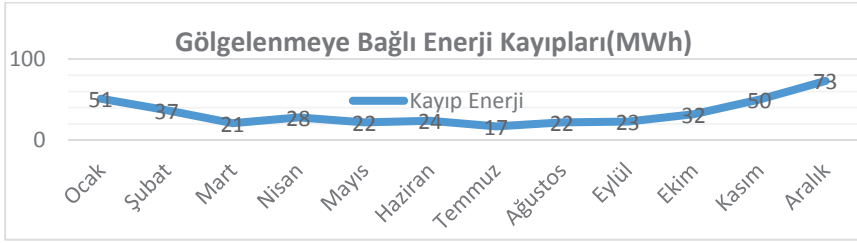
Şekil 6. Panellerin ağaçlarla okul arasında olmadıkları varsaydığımız durum (gölgelemeye daha az maruz kalınan durum)

Bu analiz sonucundaki enerji kayıpları “main results” bölümünden alınarak kaydedilmiştir. Ayrıca fotovoltaik paneller okul ve ağaçların arasında olmadığı yere kaydırılarak, daha az gölgelemeye maruz kalacakları durum da analiz edilerek simülasyon tekrar edilerek oluşturulan yeni enerji kayıpları kaydedilmiştir (Şekil 6).

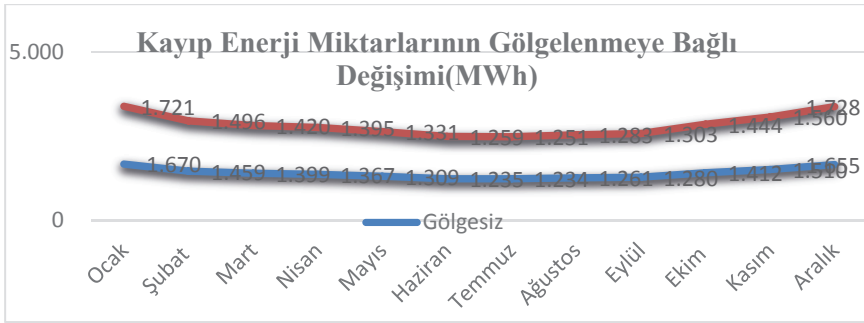
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Şekil 5’te güneş panellerinin ağaçlar ile okul arasına yanlış olarak konumlandırıldığı görülmektedir. Bu durumdaki muhtemel enerji kayıplarından olan gölge etkisine göre kaybolan enerji miktarındaki artışın aylara göre değişimi Şekil 7’de gösterilmiştir. Gölge etkisinin en az olduğu ay güneş ışınlarının yeryüzüne en dik açılarla geldiği Temmuz ayıdır. Sistemin konumlandırılması sadece sistemin kurulumu sırasındaki ay olan temmuz ayına göre yapılmıştır. Oysaki gölge boyunun mevsimlere göre değiştiği ve yılın son aylarında maksimuma ulaştığı kurulumu yapan mühendisler tarafından hesaplanamamıştır. Gölge analizi o andaki duruma göre düşünülmüş, yılın genelindeki gölge boyu değişimi hesaplamalara katılmamıştır. Tam da burada gerçek sistemdeki hatanın ortaya konabilmesi amacıyla yıl sonuna doğru güneşlenme süresinin azalmasına ve gölge boyunun artmasına bağlı olarak enerji kayıplarının daha da arttığı PVSyst simülasyonunda net şekilde tespit edilmiştir.

Enerji kayıplarının gölgeye bağlı olarak 13 MWh'ten 73 MWh'e çıktığı belirlenmiştir. Şekil 7'da verilen sonuç Şekil 8'deki daha fazla gölgelemeye maruz kalan gerçek sistem ile daha az gölgelemeye maruz kalan sistemdeki enerji kayıplarındaki farktan oluşturulmuştur. Aralık ayında bu kayıpların 73 MWh ile maksimuma ulaştığı anlaşılmaktadır. Şekil 6'te ise bu panellerin gölgeleme nesnelerinin arasında olmadığı ve doğru şekilde konumlandırıldığı durum incelenmiştir. Bu durumda gölge etkisine bağlı kayıp miktarı çok azalacak, ancak Şekil 3'te gösterilen tozlanma, yansıma, spektrum, ışınım şiddeti, sıcaklık, uyumsuzluk, kablo kayıpları, inverter kayıpları gibi muhtemel kayıplar hala olacaktır. Bu durum Şekil 7'deki gölgesiz durumdaki enerji kaybı olarak gösterilmiştir. İki farklı durumdaki kayıp enerji miktarındaki değişim karşılaştırılmalı olarak Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 7. Yanlış konumlandırma sonucu sistemdeki enerji kayıplarının aylık değişimi.



Şekil 8. Daha fazla gölgelemeye maruz kalan gerçek sistem ile daha az gölgelemeye maruz kalan sistemdeki enerji kayıplarının karşılaştırılması

4. SONUÇ

Bu çalışmada güneş enerjisi sistemleri ve bileşenleri tanıtılmış olup, Afyonkarahisar bölgesinde kurulan gerçek bir güneş enerjisi sistemi PVsyst programında gerçeği ile aynı şekilde tasarlanarak yanlış konumlandırılmadan dolayı kaybolan enerji miktarlarının aylara göre değişimi incelenmiştir. Bir yandan güneş enerjisi sistemlerinin verimleri artırılmaya çalışılırken diğer yandan yanlış bir konumlandırmanın çok büyük kayıplara neden olabileceği ortaya konulmuştur. Çalışmada gerçek bir sistemin simülasyonu yapılmış ve gölgelenmenin daha az olduğu diğer durum varsayılarak iki farklı sistemin gölgelenmeye bağlı enerji kayıpları karşılaştırılmıştır. Tesis edilen sistemin tesisi esnasında gölge boyunun kısa olmasının tasarımcıları yanıltarak paneller üzerine gölge düşmediğinin sanıldığı ancak gerçek sistem PVsyst programında simüle edilerek gölge boyunun uzadığı diğer aylardaki sonuçlar incelendiğinde okulun bahçesinde yer alan ağaçların gölgelerinin paneller üzerine düşerek ciddi oranda verim kaybının yaşanacağı tespit edilmiştir. Bu bağlamda GES sistemleri konumlandırılırken gölge analizi mutlaka yapılmalı, gölge analizi yapılırken de o andaki durum değil yılın genelindeki durum incelenmelidir. Güneş panellerinin yaygınlaşması bu ve benzeri problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu tür sistemler tesis edilmeden önce mutlaka doğru konumlandırılmalı ve mevsimsel gölge analizleri yapılarak mümkün olduğunca gölgeye maruz kalmayacak şekilde tesis edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Charfi, W., Chaabane, M., Mhiri, H. & Bournot, P. (2018). "Performance evaluation of a solar photovoltaic system", Energy Reports, 4, 400-406.
- Çınar, S.M., Hocaoğlu, F.O. & Orhun, M. (2014). "A remotely accessible solar tracker system design", Journal of Renewable and Sustainable Energy, 6, 033143.
- Dolara, A., Lazaroiu, G.C., Leva, S. & Manzolini, G. (2013). "Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules", Energy, 55, 466-475.
- Fernández-Ahumada, L.M., Casares, F.J., Ramírez-Faz, J. & López-Luque, R. (2017). "Mathematical study of the movement

of solar tracking systems based on rational models”, *Solar Energy*, 150, 20-29.

- Flores-Hernández, D.A., Palomino-Resendiz, S., Lozada-Castillo, N., Luviano-Juárez, A. & Chairez, I. (2017). “Mechatronic design and implementation of a two axes sun tracking photovoltaic system driven by a robotic sensor”, *Mechatronics*, 47, 148-159.
- Hocaoglu, F.O. & Serttas, F. (2017). “A novel hybrid (Mycielski-Markov) model for hourly solar radiation forecasting”, *Renewable Energy*, 108, 635-643.
- Lappalainen, K. & Valkealahti, S. (2017). “Effects of PV array layout, electrical configuration and geographic orientation on mismatch losses caused by moving clouds”, *Solar Energy*, 144, 548-555.
- Obara, S., Matsumura, K., Aizawa, S., Kobayashi, H., Hamada, Y. & Suda, T. (2017). “Development of a solar tracking system of a nonelectric power source by using a metal hydride actuator”, *Solar Energy*, 158, 1016-1025.
- Schiro, F., Benato, A., Stoppato, A. & Destro, N. (2017). “Improving photovoltaics efficiency by water cooling: Modelling and experimental approach”, *Energy*, 137, 798-810.
- Teo, H.G., Lee, P.S. & Hawlader, M.N.A. (2012). “An active cooling system for photovoltaic modules”, *Applied Energy*, 90, 309-315.
- Köroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K.Ç. & Tümay, M. (2010). “Güneş Panelleri Sisteminin Tasarlanması”, *Elektrik Mühendisleri Dergisi*, 439, 98-104
- Fisher, B., Ghosal, K., Riley, D., Hansen, C., King, B., Burroughs, S. (2014.) “Field performance modeling of Semprius CPV systems”, 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, S: 759–765.
- Sun, J. (2011). “An optimum layout scheme for photovoltaic cell arrays using PVSYST” *Proceedings 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer*, S: 243–245.
- Yadav, P. (2015). “Simulation and Performance Analysis of a 1 kWp Photovoltaic System Using PVsyst”, S: 358–363.
- Karki, P., Adhikary, B. & Sherpa, K. (2012). “Comparative study of grid-tied photovoltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin

using PVsyst.”, Proceedings of 2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), S:196-199.

http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx

Tek Kristal Bileşimin Teorik ve Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi

Bedrettin Doracan^{1*}, Tuncay Karakurt²

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler;
doracanbedrettin@gmail.com

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya ve
Proses Mühendisliği Bölümü; tuncaykarakurt@gmail.com

* Sorumlu Yazar; doracanbedrettin@gmail.com

Gönderme tarihi: 06/05/2019

Kabul tarihi: 21/06/2019

ÖZET

Bu çalışmada, Schiff bazı içeren $C_{23}H_{25}N_3OS$ bileşiği deneysel ve teorik yöntemler ile incelenmiştir. Bileşimin bazı geometrik parametreleri katı fazında yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) metodu kullanılarak, periyodik sınır şartları (PBC) altında Quantum-Espresso programı ile hesaplanmıştır. Moleküller arası hidrojen bağı etkileşimlerin belirlenmesi amacıyla da bileşiklerin, moleküler elektrostatik potansiyelleri (MEP) gaussian 09 programı ile DFT/B3LYP/6-31G(d) baz seti kullanılarak elde edilmiştir. Son olarak da, Hirshfeld yüzey analizi ile katı fazında moleküller arası etkileşimler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PBC; MEP; Hirshfeld

Investigation of Single Crystal Compound by Theoretical and Experimental Methods

ABSTRACT

In this study, $C_{23}H_{25}N_3OS$ compound containing Schiff base was investigated by experimental and theoretical methods. Some geometric parameters of the compound were calculated by Quantum-Espresso package program under periodic boundary conditions (PBC) using density functional theory (DFT) method in solid phase. For a better understanding of intermolecular interactions, molecular electrostatic potentials (MEP) of the compounds were obtained by gaussian 09 software using the DFT/B3LYP/6-31G(d) base set. Finally, intermolecular interactions in solid phase were investigated by Hirshfeld surface analysis.

Keywords: PBC; MEP; Hirshfeld

1. GİRİŞ

Schiff bazları 1864 yılında kimyager Hugo Schiff tarafından sentezlenmiş olup, karbon azot çifte bağı (-CH=N-) içeren bileşiklerdir (Schiff, 1869). Schiff bazlı bileşiklerde bulunan C=N bağının biyolojik aktivitelerde rolü fazladır. Azometin grubuna ait azot atomu, normal hücre işlemlerinde önemli role sahip olup bu işlemlerde etkileşime girer (Tan ve ark., 2017). Birçok çalışmada, Schiff bazlarının mükemmel şelatlama ajanları olması nedeniyle iyi antioksidan bileşik oldukları bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2013, Galini ve ark., 2017). Bakır komplekslerinin antibakteriyel, demir komplekslerinin ise antitümör aktivite gösterdiği, sıtma, mantar ve zararlı böcekler üzerinde de etkili olduğu bilinmektedir (Jeong ve ark., 1996, Reddy ve ark., 2000). Schiff bazlı metal kompleksler boya endüstrisinde renk verici madde olarak kullanılmaktadır (Zishen ve ark., 1990). Benzen halkası üzerindeki fonksiyonel atom gruplarına bağlı olarak mükemmel inhibitörler olabilecekleri gözlenmiştir (Agrawal ve ark., 2004). Taç eter içeren Schiff bazı ligandlar iyon sensörleri olarak kullanılmakta olup toksik ve yararlı metallerin tespiti konusunda çalışmaları dikkat çekmektedir (Ocak ve ark., 2006).

Yukarıda bahsedilen biyolojik ve kimyasal etkiler ışığında, daha önce sentezi (Cukurovali ve ark., 2006) ve X-ışını çalışmaları rapor edilmiş (Doracan, 2017), 2-((2-(4-(3-(2,5-Dimetilfenil)-3-metilsiklobütül) tiyazol-2-yl) hidrazon) metil) fenol bileşiğinin 6-31G (d) baz setli B3LYP teorisini kullanan gaussian 09 programı ile MEP haritası ve Hirshfeld yüzey analizi çalışmaları yapılmıştır. Katı fazında ise bileşiğin geometrik parametreleri Quantum-Espresso 6.3 paket programı ile hesaplanmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Teorik Hesaplamalar

Kristal fazındaki hesaplamalar Quantum Espresso 6.3 (Giannozzi ve ark., 2009) ile yapıldı. Hesaplamalar, Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi (DFT) (Hohenberg ve Kohn, 1964) ve Yerel Yoğunluk Yaklaşımı (LDA) altında Perdew-Zunger (PZ) pseudopotansiyel (Perdew ve Zunger, 1981) seti kullanılmıştır. Hirshfeld yüzey

(Spackman ve Jayatilaka, 2009) analizi hesabı için Crystal Explorer programı (Turner ve ark., 2017) kullanıldı. MEP yüzey analizi de Gaussian 09 (Frish ve ark., 2009) programı ile B3LYP (Becke, 1993, Lee ve ark., 1988) yöntemi ve 6-31G(d) (Foresman, 1996) temel seti kullanılarak elde edilmiştir.

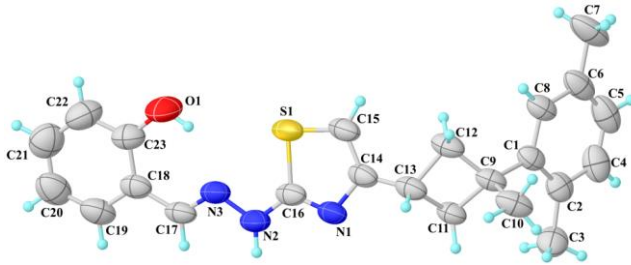
2.2. X-ışını Yöntemi

SHELXT-2015 (Sheldrick, 2015b) yazılımı kullanılarak kristalin yapısı direkt yöntemler ile aydınlatılmıştır. SHELXL-2015 (Sheldrick, 2015a) yazılımı ile de atomların konumları belirlendikten sonra yapının arıtım işlemi, tam matris en küçük kareler yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapı çözümü ve arıtımı için Olex2 (Dolomanov ve ark., 2009) programı kullanılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Kristalin Yapı Analizi

$C_{23}H_{25}N_3OS$ bileşiği, X-ışını analizi sonucu triklinik sistemde P-1 uzay grubunda kristallenmiştir. Birim hücre parametreleri; $a = 6.287(2)$, $b = 9.532(3)$, $c = 17.421(6)$ Å, $\alpha = 97.637(17)^\circ$, $\beta = 93.450(16)^\circ$ ve $\gamma = 96.668(16)^\circ$ olarak belirlendi (Şekil 1). Tablo 1’de ise kristale ait X-ışınları ve kristal fazında elde edilen bağ uzunlukları ve açılar yer almaktadır. Ayrıca Tablo 2’de, konum ve izotropik titreşim parametreleri Tablo 3’de ise sıcaklık parametreleri verilmiştir.



Şekil 1. $C_{23}H_{25}N_3OS$ bileşiğine ait ortep şekli

Tablo 1. $C_{23}H_{25}N_3OS$ tek kristalinin deneysel ve katı fazda hesaplanmış parametreleri

Bağ Uzunlukları (Å)	DeneySEL X-ışınları	DFT (Kristal fazı)
O1-C23	1.351(3))	1.327
C20-C21	1.374(4	1.400
C18-C19	1.404(3)	1.407
C19-C20	1.390(3)	1.397
C21-C22	1.447(3)	1.440
N3-C17	1.273(3)	1.289
N3-N2	1.376(2)	1.370
N2-C16	1.335(3)	1.350
N1-C16	1.328(2)	1.341
S1-C16	1.743(2)	1.699
S1-C15	1.725(2)	1.698
N1-C14	1.403(2)	1.363
C13-C11	1.547(3)	1.570
C12-C9	1.547(3)	1.569
Bağ Açılı(°)		
C20-C21-C22	120.1(3)	120.4
C18-C19-C20	122.2(2)	121.1
N1-C16-S1	113.1(1)	114.2
C14-C15-S1	112.1(1)	110.4
C16-S1-C15	89.3(9)	90.0
C11-C13-C12	89.3(1)	86.3
Torsiyon Açılı(°)		
C18-C19-C20-	0.6(4)	1.6
N1-C16-N2-N3	175.6(2)	177.5
S1-C16-N1-C14	0.0(2)	-4.7

Tablo 2. C₂₃H₂₅N₃OS Kristalinin atomik koordinatlar ($\times 10^4$) ve yer değiştirme parametreleri ($\text{Å}^2 \times 10^3$)

Atom	x	y	z	U(eř) [Å^2]
C1	-233(3)	6004.9(16)	3567.6(10)	54.6(4)
C2	1394(3)	5826(2)	4117.3(11)	62.7(4)
C4	1521(4)	6652(3)	4845.1(12)	79.7(6)
C5	108(4)	7599(2)	5034.6(13)	83.8(6)
C6	-1524(3)	7781.2(19)	4509.6(13)	72.7(6)
C8	-1667(3)	6970.4(17)	3776.7(11)	61.3(4)
C7	-3140(4)	8800(2)	4709.4(16)	102.7(9)
C3	3004(3)	4791(3)	3967.3(13)	77.7(6)
C21	7019(5)	10885(3)	-2853.7(16)	97.6(7)
C20	8587(4)	10040(2)	-2755.9(16)	93.0(7)
C19	8430(4)	9139(2)	-2199.4(14)	82.2(6)
C18	6704(3)	9050.8(18)	-1738.1(11)	62.6(4)
C23	5129(3)	9955(2)	-1839.7(13)	73.8(5)
C22	5317(4)	10845(3)	-2397.7(16)	96.9(7)
C17	6553(3)	8028.2(19)	-1193.8(10)	63.7(5)
C16	3217(3)	6806.9(19)	123.0(10)	63.1(5)
C14	883(3)	6164(2)	992.7(10)	62.8(5)
C15	103(3)	7353(2)	821.4(11)	72.1(5)
C13	25(3)	5233(2)	1549.5(10)	63.4(5)
C11	1448(3)	5069.4(19)	2280.1(10)	58.0(4)
C12	-1601(3)	5816(2)	2103.5(11)	67.9(5)
C9	-554(3)	5134.8(17)	2766.0(10)	57.3(4)
C10	-1762(3)	3663(2)	2815.6(13)	75.4(6)
C1	-233(3)	6004.9(16)	3567.6(10)	54.6(4)

C2	1394(3)	5826(2)	4117.3(11)	62.7(4)
C4	1521(4)	6652(3)	4845.1(12)	79.7(6)
C5	108(4)	7599(2)	5034.6(13)	83.8(6)
C6	-1524(3)	7781.2(19)	4509.6(13)	72.7(6)
C8	-1667(3)	6970.4(17)	3776.7(11)	61.3(4)
C7	-3140(4)	8800(2)	4709.4(16)	102.7(9)
C3	3004(3)	4791(3)	3967.3(13)	77.7(6)
N3	4948(3)	7856.8(16)	-789.2(9)	64.2(4)
N2	4863(3)	6792.2(17)	-326.3(9)	69.3(4)
N1	2674(2)	5852.0(16)	589.2(8)	62.2(4)
O1	3439(3)	9982(2)	-1396.7(12)	100.3(5)
S1	1555.4(9)	8151.8(5)	152.2(3)	73.38(19)

$$U_{es} = \left(\frac{1}{3}\right) \sum_i \sum_j U_{ij} a_i a_j a_i^* a_j^*, \text{ a: anizotropik titreşim matris elemanı}$$

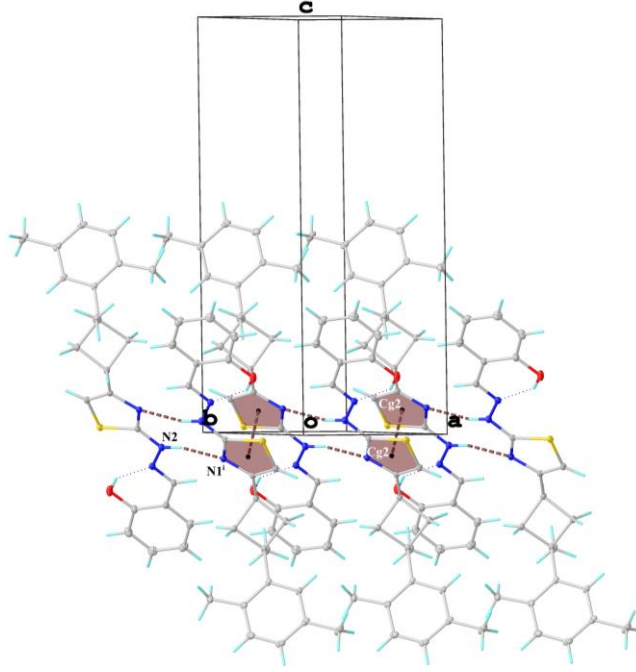
Tablo 3. C₂₃H₂₅N₃OS Kristaline ait atomların anizotropik sıcaklık titreşim genlikleri (Å²×10³)

Atom	U ₁₁	U ₂₂	U ₃₃	U ₂₃	U ₁₃	U ₁₂
C1	49.2(8)	48.4(8)	65.0(9)	0.7(7)	16.1(7)	3.6(6)
C2	53.5(9)	67.2(10)	66.1(10)	9.0(8)	11.8(8)	-1.3(7)
C4	75.5(13)	93.6(15)	63.5(11)	4.9(10)	10.0(9)	-11.9(11)
C5	94.9(16)	79.1(13)	67.2(12)	-12.2(10)	26.0(11)	-16.3(11)
C6	78.7(12)	50.3(9)	85.0(13)	-7.8(9)	37.2(11)	-5.0(8)
C8	57.1(9)	50.2(9)	75.3(11)	-1.3(8)	20.8(8)	5.2(7)
C7	112.6(19)	66.6(13)	126(2)	-20.4(13)	56.5(16)	11.8(12)
C3	56.2(10)	97.0(15)	84.3(13)	22.2(11)	6.9(9)	16.5(10)
C21	115(2)	73.3(14)	103.4(18)	15.9(13)	6.0(16)	5.6(14)
C20	104.4(18)	67.3(13)	104.6(18)	-3.8(12)	28.3(14)	7.0(12)

C19	83.9(14)	64.6(12)	98.2(15)	-4.6(11)	17.3(12)	23(1)
C18	65.2(10)	53.2(9)	65.4(10)	-11.5(8)	-4.7(8)	18.0(7)
C23	68.7(12)	68.4(11)	85.8(13)	6.2(10)	-1.8(10)	23.6(9)
C22	95.6(17)	83.2(15)	120(2)	33.2(15)	1.1(15)	28.0(13)
C17	66.0(11)	59.6(10)	64(1)	-11.2(8)	-5.7(8)	29.7(8)
C16	70.2(11)	64(1)	53.0(9)	-12.2(8)	-13.3(8)	32.1(8)
C14	65.3(10)	70.9(10)	49.9(8)	-14.6(8)	-6.9(7)	30.2(8)
C15	74.0(12)	83.0(12)	60(1)	-11.9(9)	-3.9(8)	42.2(10)
C13	58.6(10)	65.3(10)	62.5(10)	-15.4(8)	-3.0(8)	22.8(8)
C11	51.3(9)	59.7(9)	62.7(9)	-5.0(7)	5.2(7)	20.3(7)
C12	51.5(9)	74.8(11)	74.6(11)	-12.0(9)	0.4(8)	23.6(8)
C9	46.7(8)	53.5(8)	69.3(10)	-8.1(7)	7.0(7)	13.7(6)
C10	57.8(10)	59.3(10)	103.2(15)	-14.7(10)	14.5(10)	6.9(8)
N3	72.9(10)	61.3(8)	60.5(8)	-1.4(7)	-3.3(7)	31.8(7)
N2	75.6(10)	73.1(10)	64.6(9)	3.8(7)	-0.4(7)	41.0(8)
N1	67.1(9)	67.1(9)	52.9(8)	-7.6(7)	-2.2(6)	31.9(7)
O1	81.9(10)	107.9(13)	130.8(15)	45.1(11)	22(1)	53.9(9)
S1	87.9(4)	74.7(3)	60.9(3)	-6.5(2)	-5.8(2)	48.0(3)

Kristalde molekül içi O-H \cdots N ve moleküller arası N-H \cdots N hidrojen bağları gözlenmiştir. N2 atomu (simetri kodu: x, y, z) donör gibi davranarak N1 atomu (simetri kodu: 1-x,1-y,-z) ile N-H \cdots N hidrojen bağı oluşturmaktadır. Bu etkileşimde N2-H2 (D-H), H2 \cdots N1 (H \cdots A) ve N2 \cdots N1 (D \cdots A) atomları arası mesafeler sırasıyla, 0.86(2), 2.28(3) ve 3.11(2) Å olarak gözlenmiştir. Ayrıca kristal zayıf π - π etkileşimleri ile de düzenlenmiştir. Bu etkileşim Cg2 (S1/C16/N1/C14/C15) halkaları arasında gerçekleşmiştir. Bu etkileşimden kaynaklı olarak, halka sistemleri birbirlerine paralel olarak sıralandığı ve bu durumda en yakın dik uzaklığın

Cg2 halkalarının merkezleri arasında 4.079(18) Å olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2’de tüm etkileşimler gösterilmiştir.

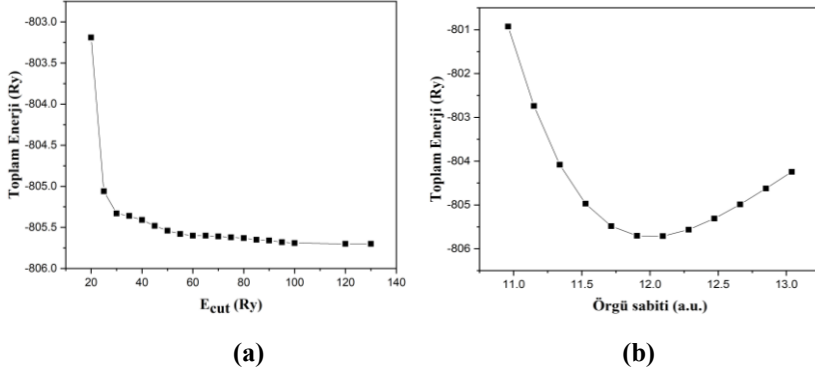


Şekil 2. Kristalinin Hidrojen bağları ve π - π etkileşimleri ile kendini tekrarlaması

3.2. Periyodik Sınır Hesaplamaları (PBC)

Kristale ait birim hücre içinde 106 atomun koordinatları kullanılarak Quantum-Espresso programı ile düzlem dalga öz uyum alan programında çalışılan sistemi tanılamak ve modellenen sistem için en uygun kesme enerjisini belirlemek için kesme enerjisi (Ecut) değerlerine karşılık gelen toplam örgü enerjileri hesaplanmıştır (Şekil 3a). Şekilden de görüldüğü gibi 100 Ry den sonraki değerler için elde edilen enerji değerleri birbirine yakınsamakta ve sabit değerlere ulaşmakta olup sistem bu değerden sonra minimum toplam enerjiye ulaşmaktadır. Bu durumda Ecut değerinin artırılmasının sistemin toplam enerjisinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı görülmüştür. Ayrıca sisteme uygun bir örgü sabiti de tanımlamak için örgü sabiti 11-13 a.u. arasında değiştirilerek her bir değer için enerji hesabı yapılmıştır (Şekil 3b). Hesaplamalarda siste-

min minimum enerjiye karşılık örgü sabitinin $a=12.09$ a.u. olduğu belirlenmiştir.

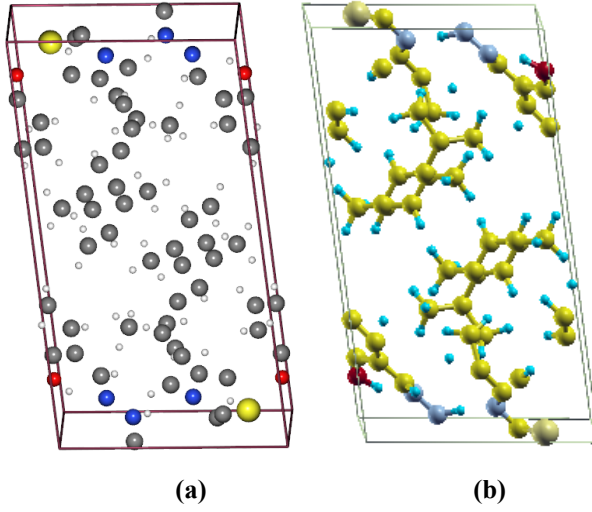


Şekil 3. Molekülün (a) Ecut (b) örgü sabitine göre toplam enerji grafikleri

Sonuçların doğruluğunun artması için, enerji üzerinde 10^{-6} Rydberg (Ry) gibi bir yakınsama değeri de kullanılmıştır. Örgü sabiti ($a=12.09$) ve $E_{cut}=100$ Ry değerleri kullanılarak birim hücrenin optimize işlemi *QE-VC-Relax* yöntemi kullanılarak kararlı haldeki parametreleri elde edilmiştir. Tablo 4'de deneysel ve hesaplanan birim hücre parametreleri, Şekil 3a-b de ise deneysel ve hesaplanan birim hücre içindeki atomların dizilişleri gösterilmiştir.

Tablo 4. Kristalin deneysel ve *QE-VC-Relax* yöntemi ile hesaplanan birim hücre parametrelerinin karşılaştırılması

Deneysel	Quantum Espresso-VC-Relax
$a = 6.287(2) \text{ \AA}$	$a = 4.5245 \text{ \AA}$
$b = 9.532(3) \text{ \AA}$	$b = 9.86701 \text{ \AA}$
$c = 17.421(6) \text{ \AA}$	$c = 18.61170 \text{ \AA}$
$\alpha = 97.637(17)^\circ$	$\alpha = 95.3873^\circ$
$\beta = 93.450(16)^\circ$	$\beta = 93.9425^\circ$
$\gamma = 96.668(16)^\circ$	$\gamma = 102.0755^\circ$
Birim Hücre Hacmi = $1024.7(6) \text{ \AA}^3$	Birim Hücre Hacmi = 823.0314 \AA^3



Şekil 4. Kristalin birim hücre içindeki (a) deneysel (b) hesaplama sonrası atomların dizilişi

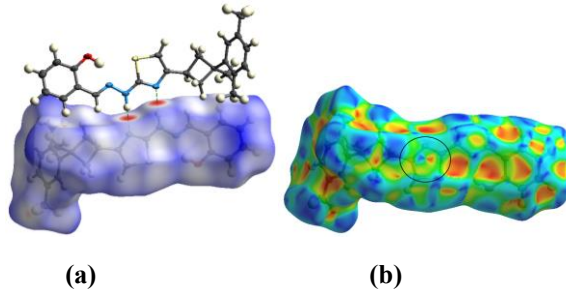
3.3. Hirshfeld Yüzey Analizi ve Moleküler Elektrostatik Potansiyel

Hirshfeld yüzey analizi, moleküllerin katı hal davranışını incelemek için etkili bir yöntem olup farklı moleküller arası etkileşimler hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. Bu nedenle, Hirshfeld yüzey analizi, moleküller arası etkileşimlerdeki varyasyonları hesaplama ve görselleştirme kabiliyetinden dolayı kristalografi alanında büyük ilgi görmüştür ve Hirshfeld yüzeyi (d_{norm}) aşağıdaki denklemle ifade edilir;

$$d_{norm} = \frac{d_i - r_i^{vdw}}{r_i^{vdw}} + \frac{d_e - r_e^{vdw}}{r_e^{vdw}}$$

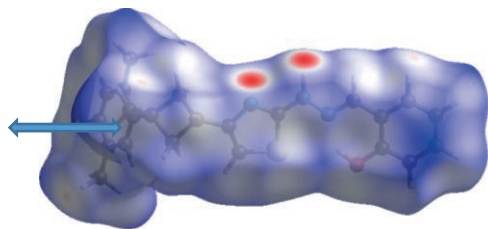
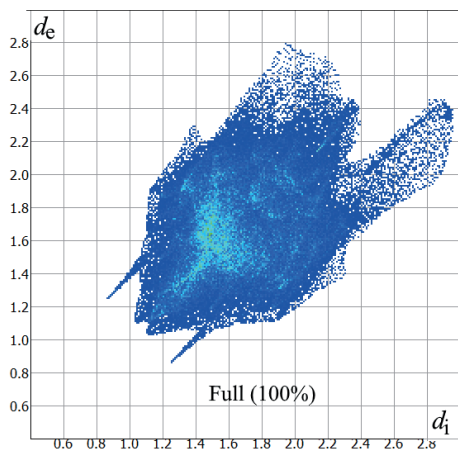
Burada, d_i , hirshfeld yüzeyinin yüzey içindeki, d_e ise dışındaki en yakın çekirdeğe olan uzaklıktır. r_i^{vdw} ile r_e^{vdw} ise atomlar arasındaki van der Waals uzaklıklarını temsil etmektedir. d_{norm} ile ilişkilendirilen Hirshfeld yüzey haritasında kırmızı bölgeler etkileşen atomlar arası mesafesinin van der Waals uzaklıkları toplamından daha küçük, mavi bölgeler büyük, beyaz bölgeler ise iki uzaklık arasında olduğunu göstermektedir (Alam ve Lee, 2017). Kristalin Hirshfeld yüzeyi (d_{norm}) Şekil 5a'da verilmiştir. d_{norm} Yüzeyindeki

iki adet olarak ortaya çıkan parlak koyu kırmızı daireler güçlü N-H \cdots N etkileşimlerini temsil eder ve H2 \cdots N1 etkileşim uzunluğu 2.137 Å'dur. Şekil indeksi ise moleküller arasında düzlemsel olarak meydana gelen π - π etkileşmelerini betimler (Saeed ve ark., 2016). Bu etkileşimler, Hirshfeld yüzeyinin şekil indeksinde kırmızı ve mavi renkli birbirine bitişik üçgenler ile temsil edilir. Hirshfeld şekil indeksi Şekil 5b'de gösterilmiş olup, daire içine alınmış Cg2 halkası üzerinde bulunan birbirine bitişik kırmızı ve mavi üçgen sembolleri bu halkanın moleküller arasında π - π etkileşimi yaptığını göstermektedir.

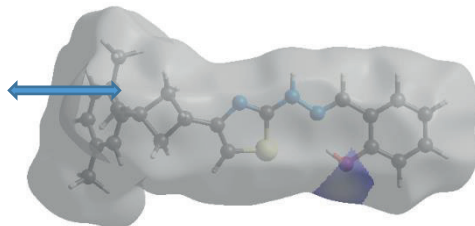
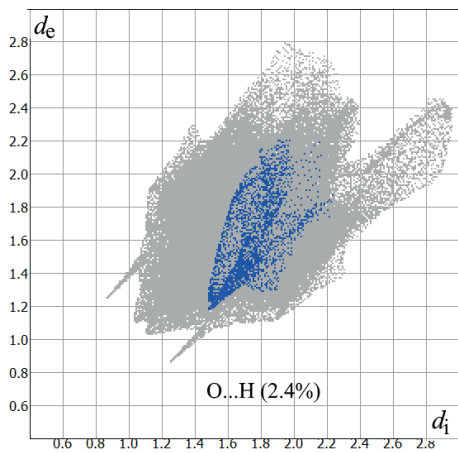


Şekil 5. Kristalin (a) d_{norm} (b) şekil indeksi ile haritalandırılmış Hirshfeld yüzeyleri

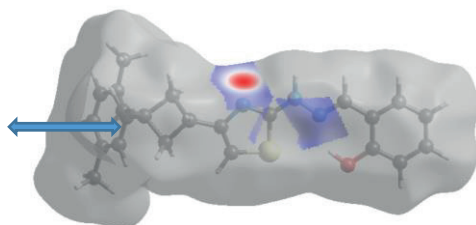
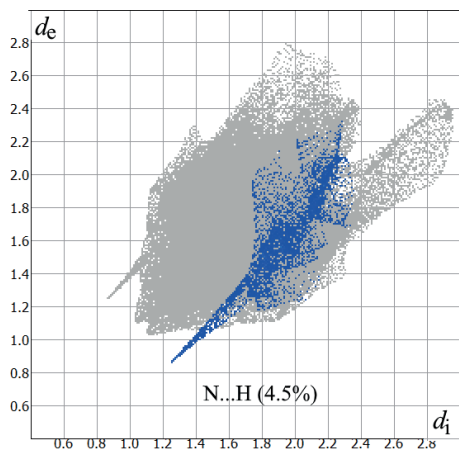
2D parmak izi moleküller arasındaki tüm etkileşimlerin temas tipini tanımlamanın ve özetlemenin bir yolunu temsil eder (Tankov ve Yankova, 2019). Şekil 6'da verilen 2D parmak izi grafikleri kristaldeki H \cdots H, O \cdots H, N \cdots H ve C \cdots H etkileşimlerinin varlığını ortaya koymaktadır. H \cdots H etkileşimi Hirshfeld yüzeyindeki toplam etkileşimin 58.4 %'üne, C \cdots H/H \cdots C etkileşimleri 11 %'ine, N \cdots H/H \cdots N etkileşimleri 4.5 %'ine ve O \cdots H/H \cdots O etkileşimi ise 2.4 % oran ile en düşük katkıyı sağlamıştır.



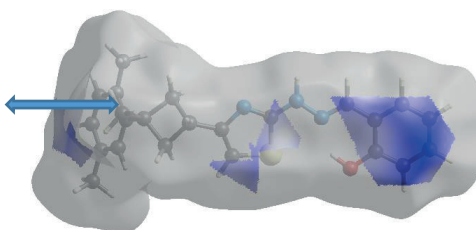
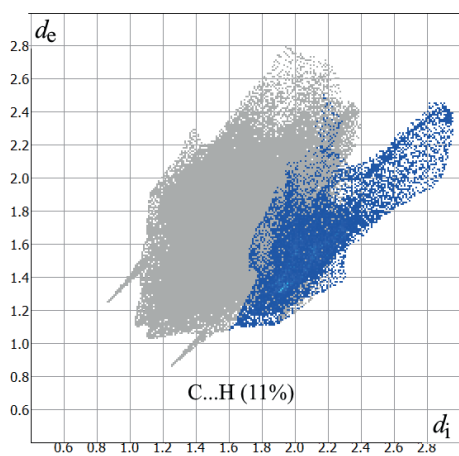
(a)



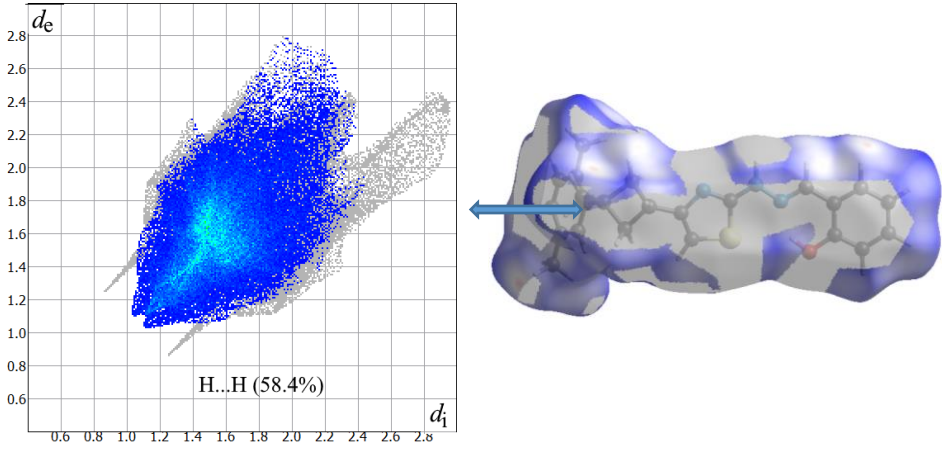
(b)



(c)



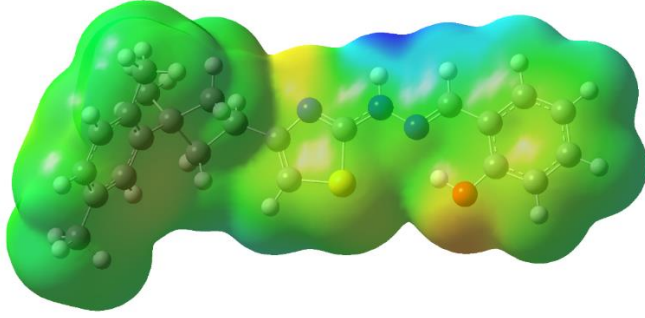
(d)



(e)

Şekil 6. Kristalin (a) Tüm Etkileşimleri (b) $O\cdots H/H\cdots O$ %2.4, (c) $N\cdots H/H\cdots N$ %4.5 (d) $C\cdots H/H\cdots C$ %11, (e) $H\cdots H$ %58.4

MEP haritalaması, moleküler yapıların fizikokimyasal özellik ilişkileri ile araştırılmasında çok yararlıdır (Fleming ve Wiley, 1976). MEP yüzeyinin renk şemasında kırmızı renk kısmen negatif yük veya elektron bakımından zengin, mavi renk ise kısmen pozitif yük veya elektron eksikliği, sarı renk ise hafif elektron bakımından zengin ve açık mavi renk ise hafif elektron eksik bölgelerini temsil eder. Şekil 7'de görüldüğü gibi, molekülün negatif bölgeleri, N1, S1 ve O1 atomları etrafında bulunurken, pozitif bölgeler, H atomları etrafında olup özellikle N2 atomuna bağı H2 atomu çevresinde yoğun şekilde oluşmuştur. Bu sonuçlardan, H2 atomunun en güçlü elektrofil özelliği ve N1, S1 ve O1 atomlarının ise en güçlü nükleofil özellik göstereceğini söyleyebiliriz.



Şekil 7. (a) Kristalin MEP yüzey analizi gösterimleri

4. SONUÇ

Literatürde sentezlenen $C_{23}H_{25}N_3OS$ kristalinin moleküler yapısı X-ışınları yöntemi ile aydınlatılmıştır. Kristalin bazı parametreleri (bağ uzunlukları, bağ açıları) hem X-ışınları hem de periyodik sınır şartları (PBC) altında katı fazında DFT kuantum kimyasal yöntemi ile hesaplandı. Kristalin d_{norm} ve şekil indeksi Hirshfeld yüzeyleri hesaplanarak molekülde meydana gelen hidrojen bağı ve $\pi-\pi$ etkileşimleri incelenmiştir, Hirshfeld yüzeyi ile 2D parmak izi grafikleri ile moleküller arasındaki tüm etkileşimler detaylı olarak aydınlatılmıştır. MEP haritası ile de elektrofilik ve nükleofilik bölgeler belirlenmiş, O1, S1 ve N1 atomlarının nükleofil, H2 atomunun ise elektrofİL özelliği en fazla göstereceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Agrawal, Y., Talati, J., Shah, M., Desai, M., & Shah, N. (2004). Schiff bases of ethylenediamine as corrosion inhibitors of zinc in sulphuric acid. *Corrosion Science*, 46, 633-651.

Alam, M. S., & Lee, D.-U. (2017). Spectral (FT-IR, FT-Raman, UV, and fluorescence), DFT, and solid-state interaction analyses of (E)-4-(3, 4-dimethoxybenzylideneamino)-1, 5-dimethyl-2-phenyl-1H-pyrazol-3 (2H)-one. *Journal of Molecular Structure*, 1128, 174-185.

Becke, A. D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *The Journal of Chemical Physics*, 98, 5648-5652.

Cukurovali, A., Yilmaz, I., Gur, S., & Kazaz, C. (2006). Synthesis, antibacterial and antifungal activity of some new thiazolylhydrazone derivatives containing 3-substituted cyclobutane ring. *European journal of medicinal chemistry*, 41, 201-207.

Doracan, B. (2017). Bazı organik bileşiklerin deneysel veterinerliksel metotlarla moleküler yapılarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir.

Dolomanov, O. V., Bourhis, L. J., Gildea, R. J., Howard, J. A., & Puschmann, H. (2009). OLEX2: a complete structure solution, refinement and analysis program. *Journal of Applied Crystallography*, 42, 339-341

Hohenberg, P., & Kohn, W. (1964). Inhomogeneous electron gas. *Physical review*, 136, B864.

Foresman, J. B., & Frisch, A. (1996). Exploring chemistry with electronic structure methods: a guide to using Gaussian.

Frisch, M., Trucks, G., Schlegel, H. B., Scuseria, G., Robb, M., Cheeseman, J., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., & Petersson, G. (2009). Gaussian 09, revision a. 02, gaussian. Inc., Wallingford, CT, 200

Fleming, I., & Wiley J. (1976). *Frontier Orbitals and Organic Chemical Reactions*, Sons LTD, London, pp. 879-880.

Giannozzi, P., Baroni, S., Bonini, N., Calandra, M., Car, R., Cavazzoni, C., Ceresoli, D., Chiarotti, G. L., Cococcioni, M., & Dabo, I. (2009). QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. *Journal of physics: Condensed matter*, 21, 395502.

Galini, M., Salehi, M., Kubicki, M., Amiri, A., & Khaleghian, A. (2017). Structural characterization and electrochemical studies of Co (II), Zn (II), Ni (II) and Cu (II) Schiff base complexes derived from 2-((E)-(2-methoxyphenylimino) methyl)-4-bromophenol; Evaluation of antioxidant and antibacterial properties. *Inorganica Chimica Acta*, 461, 167-173.

Jeong, B. G., Rim, C. P., Chae, H. N., Chio, K. H., Nam, K. C., & Cho Y. K. (1996). Synthesis and characterization of Schiff base-Cu (II) complexes derived from 2-hydroxy-1-naphthaldehyde and aliphatic diamines. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 17, 688-693.

Ocak, Ü., Alp, H., Gökçe, P., & Ocak, M. (2006). The synthesis of new N2S2-macrocyclic schiff base ligands and investigation of their ion extraction capability from aqueous media. *Separation science and technology*, 41, 391-401.

Reddy, K. H., Reddy, P. S., & Babu, P. R. (2000). Nuclease activity of mixed ligand complexes of copper (II) with heteroaromatic derivatives and picoline. *Transition metal chemistry*, 25, 505-510.

Sheldrick, G. M. (2015b). SHELXT—Integrated space-group and crystal-structure determination. *Acta Crystallographica Section A: Foundations and Advances*, 71, 3-8.

Sheldrick, G. M. (2015a). Crystal structure refinement with SHELXL. *Acta Crystallographica Section C: Structural Chemistry*, 71, 3-8.

Saeed, A., Ashraf, S., Flörke, U., Espinoza, Z. Y. D., Erben, M. F., & Pérez, H. (2016). Supramolecular self-assembly of a coumarine-based acylthiourea synthon directed by π -stacking interactions: Crystal structure and Hirshfeld surface analysis. *Journal of Molecular Structure*, 1111, 76-83.

Schiff, H. (1869). Untersuchungen über salicinderivate. *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, 150, 193-200.

Tankov, I., & Yankova, R. (2019). Hirshfeld surface, DFT vibrational (FT-IR) and electronic (UV-vis) studies on 4-amino-1H-1, 2, 4-triazolium nitrate. *Journal of Molecular Structure*, 1179, 581-592

Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physical review B*, 37, 785.

Perdew, J. P., & Zunger, A. (1981). Self-interaction correction to density-functional approximations for many-electron systems. *Physical review B*, 23, 5048.

Spackman, M. A., & Jayatilaka, D. (2009). Hirshfeld surface analysis. *CrystEngComm*, 11, 19-32.

Tan, Y. X., Zhang, Z. J., Liu, Y., Yu, J. X., Zhu, X. M., Kuang, D. Z., & Jiang, W. J. (2017). Synthesis, crystal structure and biological activity of the Schiff base organotin (IV) complexes based on salicylaldehyde-o-aminophenol. *Journal of Molecular Structure*, 1149, 874-881

Turner, M., McKinnon, J., Wolff, S., Grimwood, D., Spackman, P., Jayatilaka, D., & Spackman, M. (2017). *CrystalExplorer17*. University of Western Australia.

Zhang, Y., Fang, Y., Liang, H., Wang, H., Hu, K., Liu, X., Yi, X., & Peng, Y. (2013). Synthesis and antioxidant activities of 2-oxo-quinoline-3-carbaldehyde Schiff-base derivatives. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 23, 107-111.

Zishen, W., Ziqi, G., & Zhenhuan, Y. (1990). Synthesis, characterization and anticancer activity of L-alanine Schiff base complexes of copper (II), zinc (II), nickel (II) and cobalt (II). *Synthesis and Reactivity in Inorganic and Metal-Organic Chemistry*, 20, 335-344.

Santrifüj Destekli Dondurarak Konsantrasyon Yöntemi İle Farklı Yağ İçeriğindeki Sütlerin Konsantre Edilmesi

Hale BAYKAL¹, Safiye Nur DİRİM^{2*}

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, İzmir, Türkiye 1; halebaykall@gmail.com

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, İzmir, Türkiye 2; nur.dirim@ege.edu.tr

*Sorumlu Yazar; nur.dirim@ege.edu.tr; (+90) 232 311 3012

Gönderme tarihi:13/05/2019

Kabul tarihi: 20/06/2019

ÖZET

Bu çalışmada, santrifüj destekli blok dondurarak konsantrasyon tekniğinin farklı yağ içeriğindeki sütlere (yağlı (%3,3), yarım yağlı (%1.5) ve az yağlı (%0.1)) uygulanarak konsantre süt üretimi hedeflenmiştir. Bu amaçla, yağlı süt (11.75°Briks), yarım yağlı süt (10.57°Briks) ve az yağlı süt (9.10°Briks) santrifüj tüplerine doldurulmuş ve statik dondurucuda (24°C, 12 sa) dondurulmuş ve donmuş örnekler santrifüj (25°C, 4500 rpm, 35 dak) edilmiştir. Buz fazdan ayrıldıktan sonra elde edilen konsantre faz aynı koşullarda tekrar dondurulmuştur ve aynı işlemler tekrar edilmiştir (döngü). Konsantre süt örneklerinin suda çözünür kuru madde miktarı (SÇKM), protein ve yağ içerikleri (%), erime fraksiyonu (f), konsantrasyon yüzdesi (KY), konsantrasyon verimi (η) ve geri kazanılan sıvı miktarı (Y) hesaplanmıştır. Ayrıca konsantre süt örneklerinin donma davranışları belirlenmiştir. İkinci döngü sonunda konsantre süt örneklerinin SÇKM içerikleri yağlı, yarım yağlı ve az yağlı süt için sırasıyla 25.43°Briks, 18.56°Briks ve 17.40°Brikse ulaştığı gözlenmiştir. Dondurarak konsantrasyon işlemi ile sütün en değerli bileşenlerinden olan süt proteini ve yağının tamamına yakın kısmı konsantre kısımda tutulduğu belirlenmiştir. Konsantre süt örneklerinin konsantrasyon verimi değeri %83-63 ve geri kazanılan sıvı miktarı değeri ise 0.85-0,61 arasında değişim gözlemlendiği belirlenmiştir. Sütlerin farklı yağ içeriğine sahip olmasının donma süresinde etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Anahtar Kelimeler: Süt; Konsantre süt, Dondurarak konsantrasyon, Donma davranışı.

The Concentration of Milk with Different Fat Contents by Freeze Concentration Assisted by Centrifugation

ABSTRACT

The aim of this study was to provide concentrated milk production by applying by freeze concentration assisted by centrifugation technique to milk with different fat contents (whole milk (3.3%), semi-skimmed milk (1.5%) and skimmed milk (0.1%)). For this purpose, whole milk (11.75°Brix), semi-skimmed milk (10.57°Bx) and skimmed milk (9.10°Bx) were filled in centrifuge tubes and frozen in a static freezer (24°C, 12 h) and frozen samples were centrifuged (4500 rpm, 35 min, 25°C). The concentrated solution which was obtained after the removal of formed ice by filtration was frozen again at the same conditions and the same processes were repeated (cycle). The total soluble dry matter contents (°Bx), protein and fat contents (%), the thawing fraction (f), percentage of concentrate (KY), efficiency of concentration (η) and recovered solute values (Y) were calculated for each cycle. In addition, freezing behaviors of concentrated milk samples were determined. At the end of the second cycle, it was observed that the concentrated milk samples reached 25.43°Bx, 18.56°Bx and 17.40°Bx for whole, semi-skimmed and skimmed milk, respectively. By the freeze concentration process, it was determined that the milk protein and fat, which are the most valuable components of the milk, were kept in the concentrated part. The efficiency of concentration and recovered solute values of concentrated milks ranged between 83-63% and 0.85-0.61, respectively. The effect of the milk with different fat contents on freezing time was found to be insignificant ($p>0.05$).

Keywords: Milk, Concentrated milk, Freeze concentration, Freezing behavior.

1. GİRİŞ

İnsan beslenmesinde sütün oldukça önemli bir yeri vardır. Süt, içerdiği protein, yağ, laktoz, mineral maddeler ve vitamin yönünden oldukça zengin bir besin maddesi olarak bilinmektedir (Demirgöl ve Sağdıç, 2018). Sütün bu üstün besin niteliğinden daha çok yararlanmak amacıyla raf ömrünü uzatmak ve değişik nitelikli ürünler elde etmek için çeşitli süt ürünleri üretim teknolojileri geliştirilmiştir (Tuna ve Arslan, 2016). Sütü uzunca bir süre dayanıklı hale getirmede en yaygın olarak uygulanan yöntemler; sterilizasyon, konsantre etme ve kurutma teknolojileridir (Anonim, 2019).

Sıvı haldeki gıdaların konsantre edilmesinde evaporasyon, ters ozmos ve dondurarak konsantrasyon teknikleri kullanılmaktadır (Aider ve de Halleux, 2009; Dinçer ve Topuz, 2009). Süt ve süt ürünlerin konsantre edilmesi amacıyla genellikle evaporasyon iş-

lemi uygulanmaktadır. Evaporasyon işlemi ile yüksek konsantrasyon seviyelerine ($>50^{\circ}$ Briks) ulaşılrken, bu işlem düşük ürün kalitesi sağlamaktadır. Ters osmoz işlemi ise konsantre sütte elde edilebilecek maksimum konsantrasyon (30° Briks) evaporasyon işlemine nazaran nispeten düşüktür (Sánchez ve ark., 2011). Bununla birlikte ters osmoz işleminde membran gözeneklerinin tıkanma ve yırtılma problemleri olduğundan membranların düzenli olarak temizlenmesi ve değiştirilmesi gerekmektedir (Dinçer ve Topuz, 2009). Ayrıca membranların maliyeti de oldukça yüksektir. Dondurarak konsantrasyon tekniğı, düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden günümüzde süt ve süt ürünlerinin konsantre edilmesinde evaporasyon ve ters osmoz teknolojilerine iyi bir alternatif olabilmektedir.

Dondurarak konsantrasyon işlemi, dondurulmuş çözeltiden buz kristallerinin ayrılması ile daha konsantre bir ürün elde edilmesi işlemidir (Petzold ve ark., 2013). Dondurarak konsantrasyon tekniğı protein, yağ, suda çözünür vitaminler ve aromatik bileşenler gibi ısıya duyarlı ürünlerinin konsantre edilmesinde avantaj oluşturmakta ve bu ürünler bozulmadan uzun süre muhafaza edilebilmekte ya da kurutma gibi daha sonraki işlem basamaklarına hazır hale gelmektedir (Dinçer ve Topuz, 2009; Bektaş, 2017). Bu avantajlar dikkate alındığında birçok araştırmacı dondurarak konsantrasyon işlemi ile tam yağlı süt (Chen ve Chen, 2000), yağsız süt (Habib ve Farid, 2007), peynir altı suyu (Aider ve ark., 2007) ve meyve suları (Sánchez ve ark., 2009; Bektaş, 2017) gibi ürünleri konsantre etmişlerdir. Dondurarak konsantrasyon işlemi üç farklı teknikle gerçekleştirilmektedir (Aider ve de Halluex, 2009). Bunlar süspansiyon, film ve blok dondurarak konsantrasyon teknikleridir. Süspansiyon dondurarak konsantrasyon tekniğı; buz kristallerinin oluşturulduğu bir kristalizatör (yüzey kazıyıcı ısı değiştirici), buz kristallerinin geliştirildiğı olgunlaşma tankı (rekristalizatör) ve buz kristallerinin konsantreden ayrıldığı ayırma birimi olmak üzere üç temel birimden oluşmaktadır (Dinçer ve Topuz, 2009; Bektaş, 2017). Film dondurarak konsantrasyon tekniğı; konsantre edilecek üründe mevcut bulunan suyun soğutulmuş bir yüzeyin üzerinden akması sırasında ürün içerisindeki buzun kristalleştirilmesi işlemidir. Film dondurarak konsantrasyon tekniğinin tabakalı ve aşamalı film dondurarak konsantrasyon teknikleri olmak üzere iki farklı yöntemi bulunmaktadır (Sánchez ve ark., 2009). Blok dondurarak

konsantrasyon tekniği ise; donma, erime ve ayırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (Pardo ve Sánchez, 2015). Bu teknikte konsantre edilecek ürün önce dondurulur ve daha sonra çeşitli koşullar altında (sıcaklık, basınç, zaman, santrifüj hızı vb.) eritilerek, konsantre faz ile buz faz birbirinden ayrılmaktadır (Bektaş, 2017). Santrifüj, dondurarak konsantrasyon işleminde buz kısmın yerçekimi kuvveti uygulanarak konsantre kısımdan ayrılmasında bir alternatif oluşturmaktadır (Petzold ve Aguilera, 2013).

Bu çalışmada, santrifüj destekli blok dondurarak konsantrasyon tekniğinin farklı yağ içeriğindeki sütlerle (yağlı (%3,3), yarım yağlı (%1.5) ve az yağlı (%0.1)) uygulanması ve bu tekniğin konsantre süt ürünlerinde çözünür kuru madde miktarı, yağ ve protein içerikleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca konsantre süt ürünlerinin erime fraksiyonu, konsantrasyon yüzdesi, konsantrasyon verimi ve geri kazanılan sıvı miktarı hesaplanmıştır. Süt ve konsantre süt örneklerinin donma davranışları da belirlenmiştir. Bu çalışma konsantre süt üzerine yapılacak çalışmaların bilgi alt yapısına destek sağlamış olacaktır.

2. MATERİYAL ve YÖNTEM

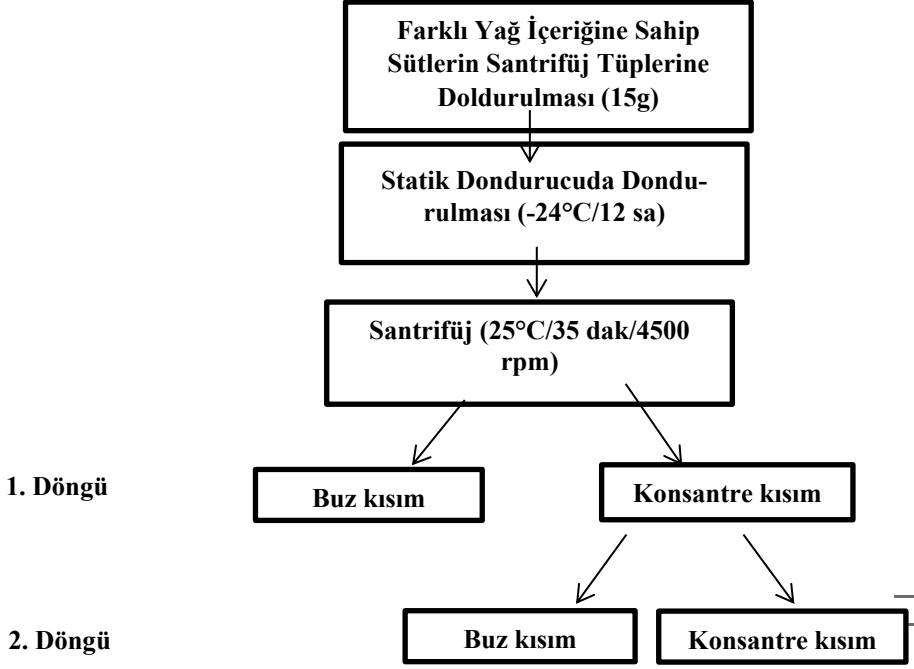
2.1 Materyal

Santrifüj destekli dondurarak konsantrasyon işleminde kullanılacak olan farklı yağ içeriğindeki sütler (yağlı (%3,3), yarım yağlı (%1.5) ve az yağlı (%0.1)) İzmir'de yerel bir marketten temin edilmiş ve kullanılacağı zamana kadar buzdolabında (+4°C'de) muhafaza edilmiştir.

2.2 Yöntem

Farklı yağ içeriğindeki sütler yaklaşık 15±0.1 g olacak şekilde ısı izolasyonu sağlanmış (cam yünü ile sarılarak) santrifüj tüplerine doldurulmuştur. Örnekler statik dondurucuda (-24°C, 12 sa) dondurulmuştur. Donmuş örnekler, santrifüj (25°C, 35 dak, 4500 rpm) işlemine tabi tutulmuştur. Santrifüj işlemi sonunda konsantre ve buz kısım birbirinden ayrılarak, konsantre süt örnekleri tekrar santrifüj tüplerine doldurulup, aynı işlemlere bir kez daha tekrar edilmiştir (döngü). Çalışmada ikinci döngü sonrası çalışılmış fakat SÇKM miktarı değişmediği ve konsantrasyon verimi azaldığı için bir döngü daha yapılması uygun bulunmamıştır. Santrifüj destekli

dondurarak konsantrasyon tekniğinin genel yöntemi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Santrifüj destekli dondurarak konsantrasyon tekniğinin genel yöntemi.

2.3 Analiz Yöntemleri

Konsantre süt denemeleri ve analizler üç tekrar, üç paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

2.3.1 Fiziksel ve Kimyasal Analizler

2.3.1.1 Suda çözüdür kuru madde (°Briks):

Süt ve konsantre edilmiş süt örneklerinin her döngüden sonra suda çözüdür kuru madde içeriği (°Briks) Hanna (HI 96801, USA) marka dijital refraktometre ile belirlenmiştir.

2.3.1.2 Protein Tayini:

Süt ve konsantre edilmiş süt örneklerinde protein tayini Leco FP-528 Protein/Nitrogen Determinator, USA cihazı ile AOAC

920.87 no'lu yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AOAC, 2005).

2.3.1.3 Yağ tayini:

Süt ve konsantre edilmiş süt örneklerinde yağ tayini Gerber yöntemine göre % olarak belirlenmiştir (Metin, 2009).

2.3.2 Hesaplamalar

Dondurarak konsantrasyon yöntemi ile birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen konsantre sütler tartılarak Eşitlik 1, 2, 3 ve 4'te verilen hesaplamalarda kullanılmıştır.

2.3.2.1 Erime Kesri (f):

Santrifüj ile dondurarak konsantre etme işlemi uygulanan tam yağlı sütün erime kesri (f) her döngü için Nakagawa ve ark. (2010)'a göre hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

$$f = \frac{\text{Konsantre ürün ağırlığı (g)}}{\text{Başlangıç ürün ağırlığı (g)}} \quad (1)$$

2.3.2.2 Konsantrasyon Yüzdesi (KY):

Santrifüj ile dondurarak konsantre etme işlemi uygulanan tam yağlı sütün konsantrasyon yüzdesi (KY (%)) her döngü için Petzold ve Aguilera (2013)'ya göre hesaplanmıştır (Eşitlik 2).

$$KY (\%) = \frac{\text{Başlangıç ürün ağırlığı (g)} - \text{Buz ağırlığı (g)}}{\text{Başlangıç ürün ağırlığı (g)}} * 100 \quad (2)$$

2.3.2.3 Konsantrasyon Verimi (η):

Santrifüj ile dondurarak konsantre etme işlemi uygulanan tam yağlı sütün konsantrasyon verimi (η) her döngü için Petzold ve Aguilera (2013)'ya göre hesaplanmıştır (Eşitlik 3).

$$\eta = \frac{\left(\frac{\text{Konsantre edilmiş ürünün toplam suda çözünür kuru madde miktarı (Bx)}}{\text{Konsantre edilmiş ürünün toplam suda çözünür kuru madde miktarı (Bx)}} \right) - \left(\frac{\text{Ayrılan buz kısmın toplam suda çözünür kuru madde miktarı (°Bx)}}{\text{Konsantre edilmiş ürünün toplam suda çözünür kuru madde miktarı (Bx)}} \right)}{\left(\frac{\text{Konsantre edilmiş ürünün toplam suda çözünür kuru madde miktarı (Bx)}}{\text{Konsantre edilmiş ürünün toplam suda çözünür kuru madde miktarı (Bx)}} \right)} * 100 \quad (3)$$

2.3.2.4 Geri Kazanılan Sıvı Miktarı (Y):

Konsantre edilmiş sütün geri kazanılan sıvı miktarı (Y) her döngü için Petzold ve Aguilera (2013)'ya göre hesaplanmıştır (Eşitlik 4).

$$Y = \frac{\text{Konsantre ağırlığı (g)} * \text{toplam suda çözünür kuru madde miktarı (}^{\circ}\text{Bx)}}{\text{Başlangıç ağırlık (g)} * \text{toplam suda çözünür kuru madde miktarı (}^{\circ}\text{Bx)}} \quad (4)$$

2.3.3 Donma davranışının belirlenmesi

Farklı yağ içeriğine sahip konsantre sütlerin donma davranışları gıdanın merkez noktasına yerleştirilen ısı eşler yardımıyla belirlenmiştir. Birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen konsantre sütler cam tüplere konulmuş, statik dondurucuda donma işlemi (-24°C) gerçekleştirilmiştir. Tüm denemelerde gıdanın merkez noktasının sıcaklık ölçümü ısı eşler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değerleri veri kaydetme cihazı ile kaydedilmiştir. Gıdanın merkez noktası sabit sıcaklığa ulaştığında donma işlemine son verilmiştir.

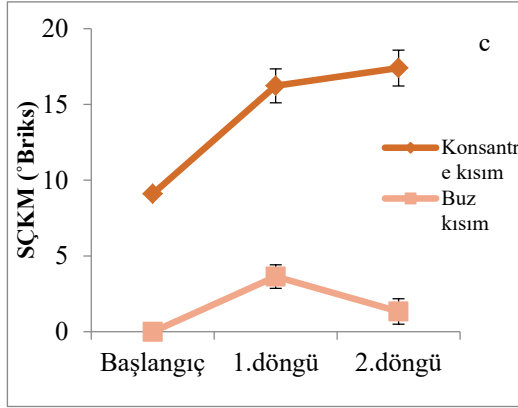
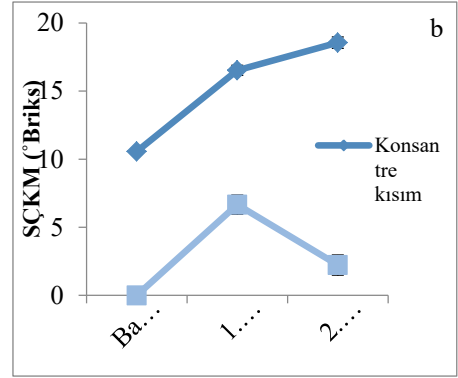
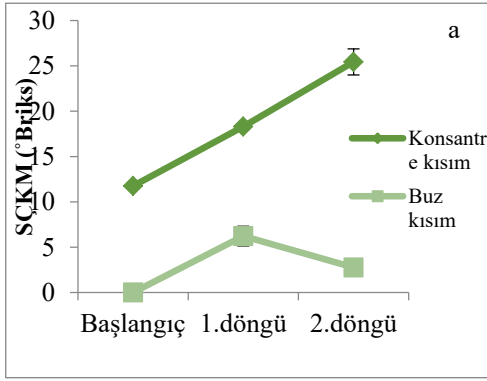
2.3.4 İstatistiksel Analiz

DeneySEL sonuçlar ortalama \pm standart sapma olacak şekilde kaydedilerek SPSS 22.0 paket programı (SPSS Inc., USA) ile %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Dondurarak konsantrasyon işlemi sırasında kullanılan farklı yağ içeriğine sahip sütlerin konsantre ve buz faz için ayrılan kısımların SÇKM içerikleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'ye göre yağlı sütün santrifüj destekli dondurarak konsantrasyon yöntemi ile konsantre edilmesi ile ilk döngü sonunda SÇKM içeriği 11.75°Briks'ten 18.30°Brikse, ikinci döngü sonunda ise bu değer 25.43°Briks değerine ulaşmıştır. Yarım yağlı sütün konsantre edilmesi ile ilk döngü sonunda SÇKM içeriği 10.57° Briks'ten 16.53°Brikse, ikinci döngü sonunda ise 18.56°Brikse ulaşırken; az yağlı sütün ise ilk döngü sonunda SÇKM içeriği 9.10°Briks'ten 16.23°Brikse, ikinci döngü sonunda ise 17.40°Brikse ulaşmıştır. Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin SÇKM içerikleri döngü sayısına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Döngüler sonunda yağlı sütün SÇKM içeriği başlangıca göre 2.16 kat, yarım yağlı sütün 1.76 kat

ve az yağlı sütün ise 1.91 kat arttığı belirlenmiştir. Çalışmada üçüncü döngü sonunda yağlı sütün konsantre kısmının SÇKM içeriği 25.55°Briks değerine sahip olduğunu ve değerini değişmediği gözlenmiştir. Ayrıca yağlı sütün buz kısmının SÇKM içeriği ikinci döngü sonunda 2.76 °Briks değerine sahip iken üçüncü döngü sonunda buz kısmın SÇKM içeriği 18.10°Briks değerine ulaştığından üçüncü döngünün yapılması uygun bulunmamıştır. Dondurarak konsantrasyon tekniğinin farklı yağ içeriğine sahip sütlere uygulanması sonucunda elde edilen konsantre ürünlerin SÇKM içerikleri ile döngü sayısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). Tüm örneklerden ayrılan buz kısımlarının SÇKM içerikleri aynı davranışı göstererek birinci döngü sonunda artarken, ikinci döngü sonunda ise azaldığı görülmektedir. Kullanılan sütün yağ içerikleri azaldıkça konsantre kısımda tutulan sütün suda çözünür kuru madde bileşenlerinin miktarı da azalmaktadır. Aider ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada yağsız peynir altı suyuna (6.86 ± 0.39 kuru madde içeriğine sahip) blok dondurarak konsantrasyon tekniğini uygulayarak dört döngü boyunca konsantre etmeye çalışmışlar, birinci ve iki döngü sonunda kuru madde içeriklerini sırasıyla 17.88 ± 0.56 ve 28.25 ± 0.46 olarak bulmuşlardır. Çalışmamızda uygulanan yöntem ile hammadde farklılıkları nedeniyle sonuçların literatürde verilen değerlerle doğrudan kıyaslanması mümkün olmamakla birlikte, yağsız sütün için iki döngü sonunda elde edilen 17.40° Briks değerinin başarılı olarak kabul edilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 2. Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin başlangıç ve konsantrasyon işlemi sonucunda elde edilen konsantr e ve buz kısımların suda çözünür kuru madde içerikleri (a: yağlı süt, b: yarım yağlı süt, c: az yağlı süt).

Dondurarak konsantrasyon işlemi ile birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen farklı yağ içeriğine sahip konsantr e sütlerin protein ve yağ içerikleri (%) Tablo 1’de verilmiştir. En yüksek protein içeriğinin ikinci döngü sonunda konsantr e edilmiş yağlı sütte olduğu görülmüştür. Farklı yağ içeriğine sahip konsantr e sütlerin % protein içeriği döngü sayısına bağlı olarak arttığı görülmüştür ($p < 0.05$). Benzer bir durum, Aider ve Ounis (2012) tarafından yapılan çalışmada yağsız sütte de görülmüştür. Araştırmacılar yağsız sütün % protein içeriğinin döngü sayısına bağlı olarak arttığını bildirmişlerdir. Başlangıç % protein içeriğini 3.79 ± 0.71 olarak

belirtirken; birinci ve ikinci döngü sonunda toplam protein içeriklerini sırasıyla 6.08 ± 0.11 ve 11.37 ± 0.21 olarak bildirmişlerdir. Literatürde bulunan değerlerle kıyaslandığında, çalışmamızda bulunan protein içeriklerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu farkın uygulanan yöntem farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı yağ içeriğine sahip konsantre sütlerin % yağ içeriğinin de döngü sayısına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Yağlı, yarım yağlı ve az yağlı konsantre sütlerin döngüler sonunda % yağ içerikleri başlangıca göre sırasıyla 1.42, 1.77 ve 4.70 kat arttığı görülmektedir. En yüksek % yağ içeriğinin ikinci döngü sonunda konsantre edilmiş yağlı sütte olduğu gözlenmiştir. Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin yağ içerikleri artan SÇKM ve döngü sayısına bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı ölçüde artmıştır ($p < 0.05$). Dondurarak konsantrasyon işlemi ile sütün en değerli bileşenlerinden olan süt proteini ve yağının tamamına yakın kısmının konsantre kısımda tutulduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin başlangıç ve konsantre işlemi sonucundaki protein ve yağ içerikleri (%).

Analiz	Döngü	Yağlı süt	Yarım yağlı süt	Az yağlı süt
Protein içeriği (%)	Başlangıç	3.01±0.12 ^{ay}	3.30±0.24 ^{az}	2.47±0.06 ^{ax}
	1.Döngü	7.17±0.14 ^{bz}	6.23±0.18 ^{by}	4.33±0.26 ^{bx}
	2.Döngü	7.67±0.15 ^{cz}	7.37±0.21 ^{cy}	5.33±0.25 ^{cz}
Yağ İçeriği (%)	Başlangıç	3.23±0.12 ^{az}	1.30±0.00 ^{ay}	0.10±0.00 ^{ax}
	1.Döngü	4.30±0.17 ^{bz}	1.90±0.10 ^{by}	0.30±0.00 ^{bx}
	2.Döngü	4.60±0.10 ^{cz}	2.30±0.20 ^{cy}	0.47±0.06 ^{cx}

a-c Aynı yağ içeriğine sahip sütlerin döngüler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($p < 0.05$).

x-z Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin aynı döngüler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($p < 0.05$).

Yağlı, yarım ve az yağlı konsantre sütlerin tartımından elde edilen veriler Eşitlik 1, 2, 3 ve 4’de verilen hesaplamalarda kullanılmıştır. Elde edilen verilerden her döngü için erime fraksiyonu, konsantrasyon yüzdesi, konsantrasyon verimi ve geri kazanılan sıvı miktarı hesaplanmış ve sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Her döngü için geri kazanılan sıvı miktarı, konsantrasyon yüzdesi, konsantrasyon verimi ve erime fraksiyonu.

Örnek	Döngü Sayısı	Erime Fraksiyonu (f)	Konsantrasyon Yüzdesi (%)	Konsantrasyon Verimi (%)	Geri Kazanılan Sıvı Miktarı (kg konsantre faz/kg başlangıç)
Yağlı Süt	1	0.54±0.07 ^{ay}	62.22±2.47 ^{by}	82.52±3.56 ^{bx}	0.85±0.12 ^{ay}
	2	0.51±0.03 ^{ax}	52.61±0.16 ^{ay}	67.01±0.14 ^{ay}	0.80±0.01 ^{ay}
Yarım Yağlı Süt	1	0.49±0.05 ^{ay}	58.25±4.28 ^{by}	83.65±0.75 ^{bx}	0.77±0.02 ^{by}
	2	0.49±0.01 ^{ax}	49.89±0.60 ^{ax}	63.40±0.67 ^{ax}	0.61±0.03 ^{ax}
Az Yağlı Süt	1	0.33±0.05 ^{ax}	47.17±2.27 ^{ax}	84.07±1.40 ^{bx}	0.59±0.09 ^{ax}
	2	0.48±0.01 ^{bx}	45.53±0.06 ^{ax}	62.65±1.28 ^{ax}	0.78±0.02 ^{by}

a-b Aynı yağ içeriğine sahip sütlerin döngüler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($p<0.05$).

x-z Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin aynı döngüler arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir ($p<0.05$).

Erime fraksiyonu (f); konsantre olarak ayrılan faz ağırlığının, başlangıç ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmada sonuçlar incelendiğinde, farklı yağ içeriğine sahip sütlerden konsantre olarak ayrılan faz kısımların veya başlangıç ağırlığındaki artma ve azalmaya bağlı gösterdiği davranışlar erime fraksiyonunu etkilemektedir. Konsantre edilmiş sütlerin erime fraksiyonu değerleri incelendiğinde; en yüksek erime fraksiyonu değerine birinci döngü sonunda elde edilen konsantre yağlı sütte ($0.54±0.07$), en düşük erime fraksiyonu değerine ($0.33±0.05$) ise birinci döngü sonunda elde edilen konsantre az yağlı sütte olduğu gözlenmiştir. Bu durumun nedeninin konsantre olarak ayrılan miktarın, yağlı sütte daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Erime fraksiyonu sonuçlarına bakıldığında, döngü sayısının artmasında bağlı olarak tüm örneklerde farklı bir sonuç sergilenmiştir. Konsantre edilmiş yağlı sütlerde erime fraksiyonu değeri döngü sayısına bağlı olarak azaldığı görülürken, konsantre edilmiş yarım yağlı sütlerde bu değer değişmediği ve konsantre edilmiş az yağlı sütte ise bu değer artış olduğu gözlenmektedir. Birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen konsantre sütlerin erime fraksiyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gözlenmiştir ($p>0.05$).

Konsantrasyon yüzdesi (KY), başlangıç ağırlığı ile döngü sonunda buz olarak ayrılan ve eritilen faz ağırlıkları arasındaki farkın başlangıç ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Tüm süt örneklerinde döngü sayısının artmasıyla, konsantrasyon yüzdesi (%) değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Benzer durumun yaban mersini ve ananas suyunda (Petzold ve ark., 2015) da gözlemlendiği belirtilmiştir. Petzold ve ark. (2015) yaptıkları bir çalışmada yaban mersini ve ananas suyu santrifüj destekli blok dondurarak konsantrasyon tekniği (4600 rpm, 20°C, 15 dak) ile üç döngü boyunca konsantre edilmiş ve elde edilen konsantrasyon yüzdesinin yaklaşık olarak %60'a ulaştığı belirtilmiştir. Dondurarak konsantre edilmiş yağlı sütün birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen konsantrasyon yüzdesi değerleri Petzold ve ark. (2015) bulduğu değerlerle uyum içinde olduğu gözlenirken, yarım ve az yağlı sütlerin konsantrasyon yüzdesi değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeninin yağlı sütün kuru madde miktarının diğer sütlere oranla daha yüksek olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin konsantrasyon yüzdesi değerlerinin birinci ve ikinci döngü üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p < 0.05$), farklı yağ içeriğine sahip olmaları üzerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$).

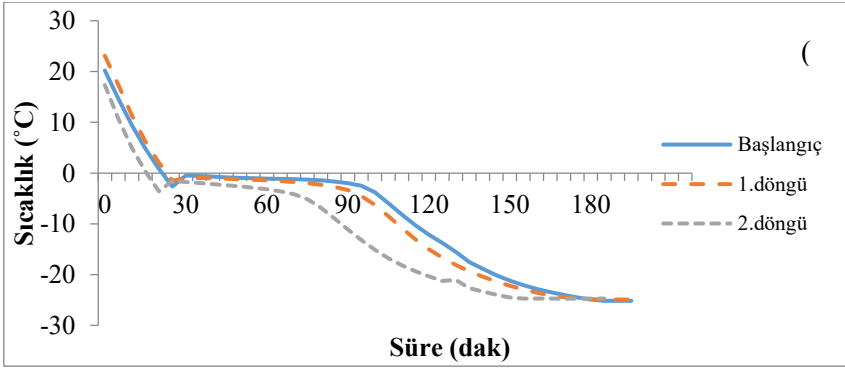
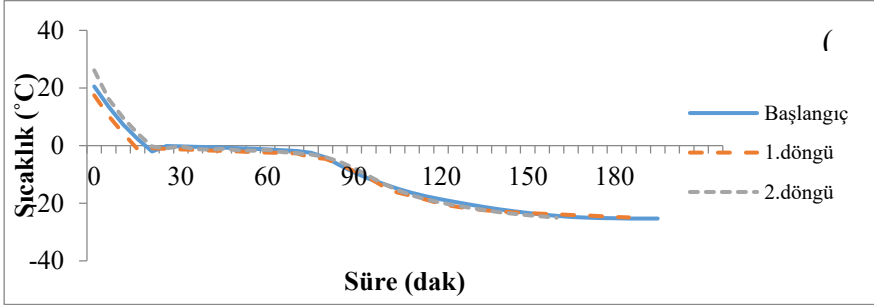
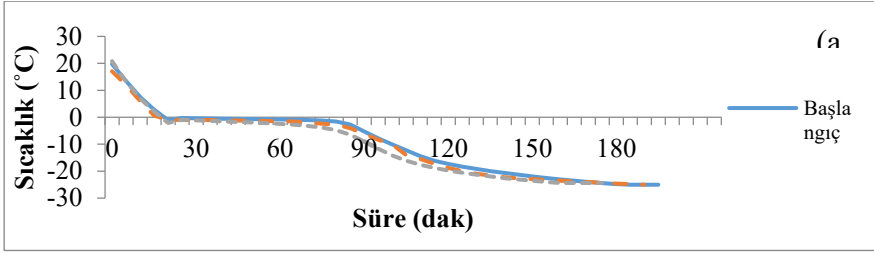
Konsantrasyon verimi (η), konsantre olarak ayrılan fazın SÇKM içeriği ile buz olarak ayrılan ve eritilen fazın SÇKM içeriği arasındaki farkın konsantre olarak ayrılan fazın SÇKM içeriğine oranı olarak tanımlanmaktadır. Konsantrasyon verimi (%) ile konsantrasyon yüzdesi (%) değerleri aynı davranışı göstermiş, yani döngü sayısının artmasına bağlı olarak bu değerlerin azaldığı görülmektedir. Yapılan istatistik analiz sonuçlarına göre; tüm süt örneklerinin konsantrasyon verimi değerleri, birinci ve ikinci döngü arasında anlamlı bir fark görülürken ($p < 0.05$), farklı yağ içeriğine sahip olmaları üzerindeki arasındaki etkisi önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Çalışmada üçüncü döngüde çalışılmış fakat konsantrasyon verimi değeri %29 değerine düştüğü için bir döngü daha yapılması anlamlı bulunmamıştır. Bu nedenle, çalışmada farklı yağ içeriğine sahip sütlerin konsantre edilmesinde iki döngünün yeterli olacağına karar verilmiştir. Aider ve Ounis (2012) tarafından yapılan çalışmada yağsız süte blok dondurarak konsantrasyon tekniğini uygulamışlar ve dört döngü sonunda konsantrasyon veriminin azal-

dığını belirtmişlerdir. En yüksek konsantrasyon verimine birinci ve ikinci döngü sonunda ulaşılmış ve ortalama değerinin 92 ± 1.12 olduğunu bildirmişlerdir. Üçüncü ve dördüncü döngü sonunda ise bu değerlerin azaldığını belirterek, bu değerlerin sırasıyla $66.21 \pm 2.53\%$ ve 49.31 ± 2.91 olduğunu bildirmişlerdir. Konsantre edilmiş yağsız süt için bulunan konsantrasyon verimi değerleri Aider ve Ounis (2012) bulduğu değerlerle benzer davranış göstermiş yani döngü sayısı arttıkça verimin azaldığı gözlenmiştir. Muñoz ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada üç farklı soğutma sıcaklığı (-5°C , -10°C , -15°C) ve üç farklı karıştırma hızı (0 rpm, 500 rpm, 1000 rpm) uygulayarak, yağsız sütün dondurarak konsantrasyon tekniği ile karıştırma kazanında konsantre edilmesini amaçladığı çalışmada; en yüksek konsantrasyon verimi değerlerinin tüm soğutma sıcaklıkları (-5°C , -10°C , -15°C) için en yüksek karıştırma hızında (1000 rpm) olduğu gözlenmiştir. Üç farklı sıcaklık ve 1000 rpm karıştırma hızı için konsantrasyon verimi değerleri sırasıyla 62.07 ± 1.99 , 57.52 ± 0.72 ve 56.70 ± 0.58 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada sıcaklık ve karıştırma hızının konsantre verimin sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Konsantre edilmiş farklı yağ içeriğine sahip sütlerin için birinci ve ikinci döngü sonunda bulunan konsantrasyon verimi değerleri, Muñoz ve ark. (2018) bulduğu değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun santrifüj hızının daha yüksek (4600 rpm) olmasıyla buz fazın daha etkin ayrılmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Geri kazanılan sıvı miktarı (Y) ise konsantre olarak ayrılan fazda ve başlangıçtaki toplam katı madde arasındaki oranı ifade etmektedir. Konsantre edilmiş sütlerin geri kazanılan sıvı miktarı değerleri incelendiğinde; en yüksek geri kazanılan sıvı miktarı (0.85 ± 0.12) birinci döngü sonunda elde edilen konsantre yağlı sütte, en düşük geri kazanılan sıvı miktarı (0.59 ± 0.09) ise birinci döngü sonunda elde edilen konsantre az yağlı sütte gözlenmiştir. Birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen konsantre sütlerin geri kazanılan sıvı miktarı üzerine etkisi yağlı sütte istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gözlenirken ($p > 0.05$), yarım ve az yağlı sütlerde etkisi anlamlı olduğu görülmüştür ($p < 0.05$). Petzold ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada dondurarak konsantrasyon tekniği ile konsantre edilmiş yaban mersini ve ananas suyunun üçüncü döngü sonunda

geri kazanılan sıvı miktarlarının sırasıyla 0.73 kg/kg ve 0.74 kg/kg olduğunu bildirmişlerdir. Petzold ve Aguilera (2013) yaptıkları çalışmada ise sukroz çözeltisine santrifüj destekli blok dondurarak konsantrasyon tekniğini (3799 rpm, 20°C, 15 dak) uygulamış ve üç döngü sonunda konsantre edilen sukroz çözeltisinin geri kazanılan sıvı miktarını 0.73 kg/kg olarak belirtmiştir. Dondurarak konsantre edilmiş yağlı sütün birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen geri kazanılan sıvı miktarları ile yarım yağlı sütün birinci döngü sonunda elde edilen geri kazanılan sıvı miktarları belirtilen referanslarda verilen değerlere göre daha yüksek olduğu gözlenirken, yarım yağlı sütün ikinci döngü sonunda elde edilen geri kazanılan sıvı miktarları ile az yağlı sütün birinci ve ikinci döngü sonunda elde edilen geri kazanılan sıvı miktarlarının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun farklı hammadde kullanımından kaynaklanabileceği gibi ayrıca az yağlı sütün konsantre olarak ayrılan kısmının daha az olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Süt özellikle bileşiminden gerçek çözelti halinde bulunan maddeler, yani laktoz ve mineral maddeler nedeniyle suya oranla daha düşük bir derece donar. Çeşitli hayvan ırkları dikkate alındığında sütün donma noktası -0.530°C ile -0.540°C arasında değiştiğini belirtmiştir (Üçüncü, 2015). Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin merkez noktasının -24°C'de statik dondurucuda dondurulması sırasında gözlenen sıcaklık-zaman donma eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin donma eğrileri karşılaştırıldığında en uzun donma sürelerinin başlangıç örnekleri olan yağlı, yarım yağlı ve az yağlı sütlerde olduğu görülmektedir. Yağlı, yarım yağlı ve az yağlı sütlerde döngü sayısının artmasına bağlı olarak donma sürelerinin azaldığı görülmektedir. Yani sütlerin donma süresi konsantre sütlerden daha uzun sürdüğü ve hedeflenen sıcaklığa daha geç ulaşıldığı görülmektedir. Sütlerin farklı yağ içeriğine sahip olmasının donma süresinde etkisi önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).



Şekil 3. Farklı yağ içeriğine sahip sütlerin başlangıç ve her döngü sonundaki donma eğrileri (a): yağlı süt, (b): yarım yağlı süt, (c): az yağlı süt).

Daha yüksek kuru madde içeriğine sahip gıdalarda ilk buz kristallerinin oluşması daha düşük sıcaklıkları gerektirmektedir (Koç ve ark., 2018). Farklı yağ içeriğine sahip sütlerde döngü sayısına bağlı olarak suda çözünür kuru madde içeriği arttığından, aşırı soğumanın gerçekleştiği sıcaklık başlangıç örneklerine göre genel olarak (yarım yağlı süt hariç) daha düşük sıcaklıklarda olduğu gözlemlenmiştir. Muñoz ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada üç farklı soğutma sıcaklığı (-5°C, -10°C ve -15°C) ve üç farklı karıştırma hızı (0 rpm, 500 rpm ve 1000 rpm) uygulayarak, yağsız sütün aşamalı

film dondurarak konsantrasyon tekniği ile konsantre edilmesi amaçladığı çalışmada; konsantre sütlerde aşırı soğumanın gerçekteştiği sıcaklığın, yağsız sütün sıcaklığından daha düşük olduğunu belirtmiştir. Benzer durum, peynir altı suyu (Sánchez ve ark., 2011) ve meyve suyunda (Auleda ve ark., 2011) da gözleendiği belirtilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı yağ içeriğine sahip sütlerle santrifüj destekli dondurarak konsantrasyon tekniğinin uygulanması ile konsantrasyon işleminin suda çözünür kuru madde miktarı ($^{\circ}$ Briks), protein ve yağ içerikleri (%) üzerine etkileri incelenmiştir. Yağlı sütün santrifüj destekli dondurarak konsantrasyon yöntemi ile konsantre edilmesi ile 25.43° Briks; yarım yağlı sütün konsantre edilmesi ile 18.56° Briks; az yağlı sütün konsantre edilmesi ile 17.4° Briks değerine ulaştığı gözlenmiştir. Döngü sayısının artmasına bağlı olarak % protein ve % yağ içerikleri arttığı görölmektedir. Dondurarak konsantrasyon işleminin süt proteini ve yağının tamamına yakın kısmı konsantre kısımda tutulduğu belirlenmiştir. Santrifüj destekli blok dondurarak konsantrasyon tekniğinin değerlendirmesinde kullanılan hesaplamalara bakıldığında; döngü sayısının artmasıyla konsantrasyon yüzdesi, konsantrasyon verimi ve geri kazanılan sıvı miktarı (az yağlı süt hariç) azalırken, erime fraksiyonu tüm süt örneklerine farklı davranış göstermiştir. En yüksek (84.07 ± 1.40) ve en düşük (62.65 ± 1.28) konsantrasyon verimi değerlerine az yağlı konsantre sütlerde sırasıyla birinci ve ikinci döngü sonunda elde edildiği gözlenmiştir. Döngü sayısının artmasına bağlı olarak donma sürelerinin azaldığı görölrken, farklı yağ içeriğine sahip olmalarının donma süreleri üzerindeki etkisi önemsiz olduğu bulunmuştur. Bu çalışma ile farklı yağ içeriklerine sahip sütlerle santrifüj destekli dondurarak konsantrasyon tekniği uygulanarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Konsantre sütün üretimi ile artan kuru madde içeriği sayesinde bu ürünler kurutma işlemine hazır hale geldiğinden, konsantre sütlerden süt tozu üretimi konusunda yapılacak çalışmaların literatüre katkı sağlayacağı düşünölmektedir.

Teşekkür: Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No: FYL-2018-20217) tarafından desteklenen yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aider M., De Halleux, D. & Akbache, A. (2007). Whey cryoconcentration and impact on its composition, *Journal of Food Engineering* 82: 92102.
- Aider, M. & de Halleux, D. (2009). Cryoconcentration technology in the bio-food industry: Principles and Applications, *Food Science and Technology* 42 (3): 679-685.
- Aider, M., de Halleux, D. & Melnikova, I. (2009). Skim milk whey cryoconcentration and impact on the composition of the concentrated and ice fractions, *Food and bioprocess technology*, 2(1), 80-88.
- Aider, M. & Ounis, W.B. (2012). Skim milk cryoconcentration as affected by the thawing mode: gravitational vs. microwave-assisted, *International Journal of Food Science and Technology*, 47:195–202.
- Anonim (2019). Süt kurutma tarihçesi, <http://edelmakmakine.com/tr/content/48-sut-kurutma-tarihcesi> (Erişim Tarihi: 13 Nisan 2019).
- AOAC (2005). Official methods of analysis of AOAC. International, 18 Th Ed.; AOAC International: Gaithersburg, MD, USA.
- Auleda, J., Raventos M., Sánchez, J. & Hernández, E. (2011). Estimation of the freezing point of concentrated fruit juices for application in freeze concentration, *Journal of Food Engineering* 105(2): 289–294.
- Bektaş, B. (2017). Ayva, nar ve kara havuç sularına santrifüj destekli dondurarak konsantrasyon yöntemi uygulanması ve verim ile fenolik madde içeriği üzerine etkisinin incelenmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi İzmir, Türkiye, 94 s.
- Chen P. & Chen X.D. (2000). A generalized correlation of solute inclusion in ice formed from aqueous solutions and food liquid on sub-cooled surface, *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 78: 312318.

- Demirgöl, F. & Sağdıç, O. (2018). Fermente süt ürünlerinin insan sağlığına etkisi, *European Journal of Science and Technology*, (13), 45-53.
- Dinçer, C. & Topuz, A. (2009). Dondurarak konsantrasyon işlemi ve gıda endüstrisindeki Uygulamaları.
- Habib B. & Farid M. (2007). Freeze concentration of milk and saline solutions in a liquid-solid fluidized bed part I, *Experimental Chemical Engineering and Processing* 46: 14001411.
- Koç, M., Devseren, E., Yılmaz, T., Petmez, B., Okut, D. & Kaymak-Ertekin, F. (2018). Farklı dondurma ve çözündürme yöntemleri ile ön işlem uygulamalarının mandalina ve çilekte kalite özellikleri üzerine etkileri. *Gıda*, 43(3), 370-383.
- Metin, M. (2009). Süt ve mamulleri analiz yöntemleri, *Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Yayınları No:24*, 4.Baskı
- Muñoz, I. D. B., Rubio, A., Blanco, M., Raventós, M., Hernández, E., & Prudêncio, E. S., (2018). Progressive freeze concentration of skimmed milk in an agitated vessel: effect of the coolant temperature and stirring rate on process performance, *Food Science and Technology International*.
- Nakagawa, K., Maebashi, S. & Maeda, K., (2010). Freeze-thawing as a path to concentrate aqueous solution, *Separation and Purification Technology*. 73, 403–408.
- Pardo, J. M. & Sánchez, R. (2015). Block freeze concentration intensification by means of vacuum and microwave pulses. *Ingeniería y competitividad*, 17(1), 143-151.
- Petzold, G. & Aguilera, J.M. (2013). Centrifugal freeze concentration, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20: 253-258 Pp.
- Petzold, G., Moreno, J., Lastra, P., Rojas, K. & Orellana, P., (2015). Block freeze concentration assisted by centrifugation applied to blueberry and pineapple juices, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30: 92-197 pp.
- Petzold, G., Niranjana, K. & Aguilera, J. M. (2013). Vacuum-assisted freeze concentration of sucrose solutions, *Journal of Food Engineering*, 115(3), 357-361.
- Sánchez, J., Ruiz, Y., Auleda, J. M., Hernández, E. & Raventós, M. (2009). Review freeze concentration in the fruit juices industry, *Food Science and Technology International*, 15(4), 303–315.

- Sánchez, J., Hernández, E., Auleda, J. M. & Raventós, M. (2011). Freeze concentration of whey in a falling-film based pilot plant: process and characterization, *Journal of Food Engineering*, 103(2), 147-155.
- Tuna, C. & Arslan, S. (2016). Süt reçeli üretim yöntemleri ve özellikleri, *Akademik Gıda*, 14(2), 204-208.
- Üçüncü, M. (2015). Süt ve mamülleri teknolojisi, Sidas Medya Ltd. Şti., 5. Baskı, İzmir, Türkiye, 571 s., ISBN:978-975-98951-3-6.

Makrosiklik Bileşğin Sentezi ve Spektroskopik Özelliklerinin İncelenmesi

Tuncay KARAKURT^{1*}, Erbil AĞAR², Ceren CAN³, Tenzile ALAGÖZ⁴

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya ve Proses Mühendisliği, 40100, Kırşehir, Türkiye; tuncaykarakurt@gmail.com

²Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 55271, Samsun, Türkiye; erbagar@omu.edu.tr

³Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 55271, Samsun, Türkiye; cerencan_90@hotmail.com

⁴Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 55271, Samsun, Türkiye; tenzilealagoz55@gmail.com
* Sorumlu Yazar; tuncaykarakurt@gmail.com

Gönderme tarihi: 05/05/2019

Kabul tarihi: 20/06/2019

ÖZET

N,N'-(etan-1,2-diol)bis(*N*-(3,4-disiyanoftenil)-4-metilbenzensülfonamid yeni bir makrosiklik yapıda olan bileşik sentezlenmiştir. Sentezlenen bileşğin yapısı IR spektroskopik yöntem kullanılarak deneysel olarak aydınlatılmıştır. Teorik çalışmalar da ise B3LYP metodu ve 6-31G(d) temel seti kullanılarak IR, NMR spektrumları ve bazı yapısal parametreler hesaplanmıştır. Moleküller arası etkileşimleri belirlenmesi için de bileşğin, HOMO-LUMO frontier orbitalleri ve moleküler elektrostatik potansiyeli (MEP) gaussian 09 programı ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Makrosiklik; B3LYP; HOMO-LUMO; MEP

Synthesis and Spectroscopic Properties of Macrocyclic Compound

ABSTRACT

A new macrocyclic structure *N,N'*-(ethane-1,2-diyl)bis(*N*-(3,4-dicyanophenyl)-4-methylbenzenesulfonamide compound was synthesized. The structure of the synthesized compound was experimentally elucidated using IR spectroscopic method. To support experimental studies, IR, NMR spectra and some structural parameters were calculated by using B3LYP method with 6-31G(d) basic set. For better understanding of intermolecular interactions, HOMO-LUMO frontier orbitals and their molecular electrostatic potential (MEP) were obtained by gaussian 09 program.

Keywords: Macrocyclic; B3LYP; HOMO-LUMO; MEP

1. GİRİŞ

Makrosiklik bileşikler biyolojik sistemlerde iyon taşıyıcı molekül olarak kullanılmaktadırlar (Liotta, 1978). 1967 yılında makrosiklik bileşikler adı altında taç eterlerle ilgili ilk çalışma yapılmıştır (Pedersen, 1967). Biyolojik fonksiyonlarda özellikle fotosentez, depolama, moleküler oksijen taşınması ve bazı solunum sistemlerinde makrosiklik bileşiklerin türevleri tercih edilmektedir (Zhao, 2004). Taç eterdeki oksijen, kükürt veya azot atomunun konumları ve halkada farklı fonksiyonel grupların bulunması ile biyolojik sistemler için protein-metal bağlı modeller yapılabilmektedir (Rajakumar ve Rasheed, 2005). Önceki yıllarda yapılan çalışmalarla 14-15 üyeli makrosiklik içeren bileşiklerin metal iyonları ile koordinasyonları ve spektroskopik özellikleri gösterilmiştir (Gürek ve ark., 1991). Donör atomları olarak kükürt ve azot atomları içeren makrosikliklerin, bazı geçiş metal iyonları ile birlikte yüksek kompleksleşme özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir (Gok ve ark., 2007). Selektif ekstraksiyon reaktifleri olarak katyonların kolorimetrik tayini için de kullanılabilirler (Durmuş ve ark., 2009).

Sentezlenen *N,N'*-(etan-1,2-diol)bis(*N*-(3,4-disiyanofenil)-4-metilbensensülfonamid makrosiklik yapıdaki bu bileşiğin deneysel çalışmalarıyla beraber teorik olarak IR, NMR, spektrumları, Frontier orbitalleri ve MEP yüzey analizi çalışmaları yapılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal ve Yöntem

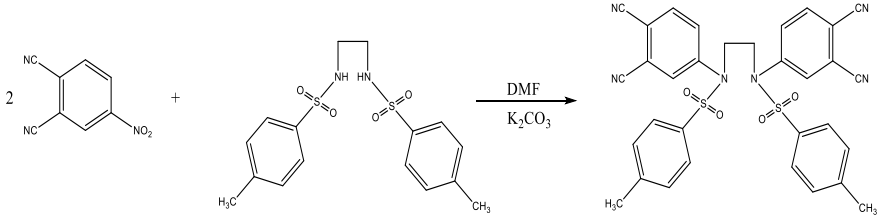
Bu çalışmada sentezi yapılan bileşiğin IR spektrumu Perkin Elmer Infrared Spektroskopi (FT-IR) cihazında alınmıştır.

2.2. Teorik Hesaplamalar

Tüm teorik hesaplamalar, B3LYP yöntemi ve 6-31G(d) temel seti kullanan Gaussian 09 programı ile yapılmıştır (Becke, 1993; Lee ve ark., 1988; Foresman ve Frisch, 1996; Frisch ve ark., 2009).

2.2. Bileşğin Sentezi

10,38 g (60 mmol) 4-nitroftalonitril 100 ml kuru DMF (*N,N*-dimetil formamit) içerisinde çözüldü. Üzerine 11,04 g (30 mmol) *N,N'*-(ethan-1,2-diol)bis(4-metilbensensülfonamid) (Massah ve ark., 2006) ilave edildi. Daha sonra bu çözelti karışımına kısımlar halinde 20,7 g (150 mmol) susuz K_2CO_3 ilave edildi ve oda sıcaklığında 48 saat karıştırıldı. Daha sonra bu karışıma 1 L su ilave edildi ve çökelek oluştu. Çökelek bol su ile yıkandı. Daha sonra sırasıyla etanol ve metanol ile reflüks yapıldı, süzüldü. Son olarak çökelek eter ile yıkandı ve kurutuldu (Şekil 1). Verim: %81; EN: 160-162 °C olarak bulundu.

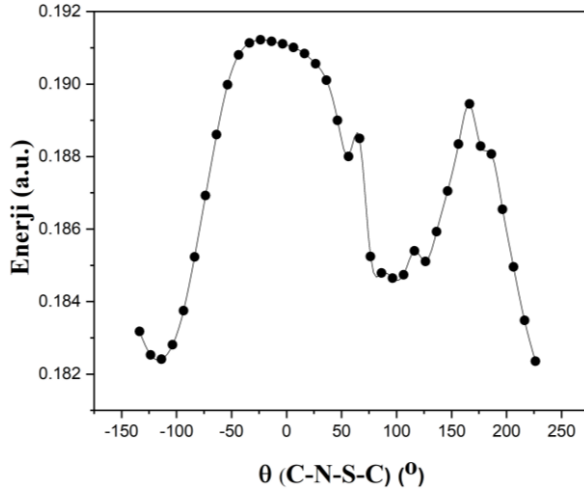


Şekil 1. Hedef bileşğin sentezi için kullanılan sentetik prosedür

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

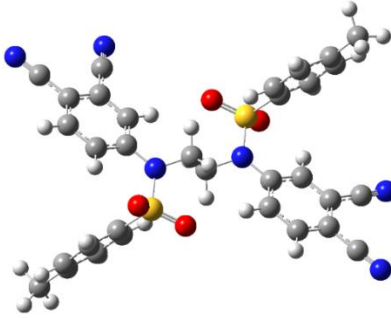
3.1. Molekülün Yapısal Analizi ve Spektroskopik Çalışmalar

Bileşğin optimize yapısının belirlenmesi, potansiyel enerji yüzeyi taraması (PES) yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Molekülün iki boyutlu PES analizi

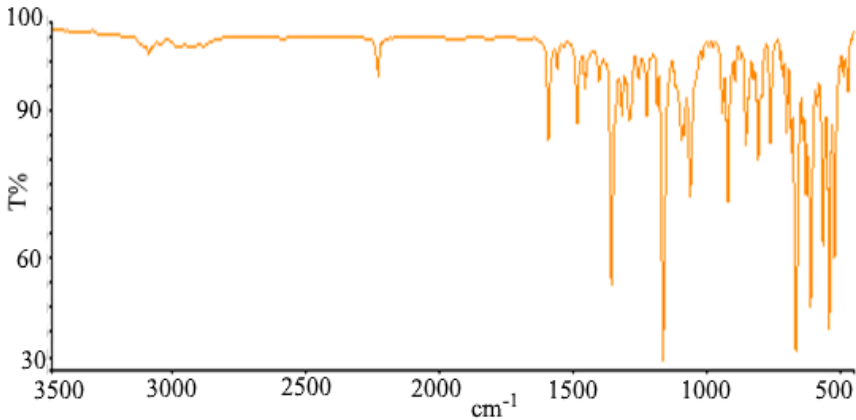
PES analizi için, molekülün $\theta(\text{C-N-S-C})$ dihedral açısı 10° 'lik açılarla değiştirilerek bu noktalara karşılık gelen toplam enerjileri hesaplandı. Bu tarama sonucu, bileşiğe ait 2 minimum enerji konformasyonu elde edildi. Bu iki konformasyonun optimize işlemleri yeniden yapılarak bileşiğe ait en kararlı yapı elde edilmiştir (Şekil 3).



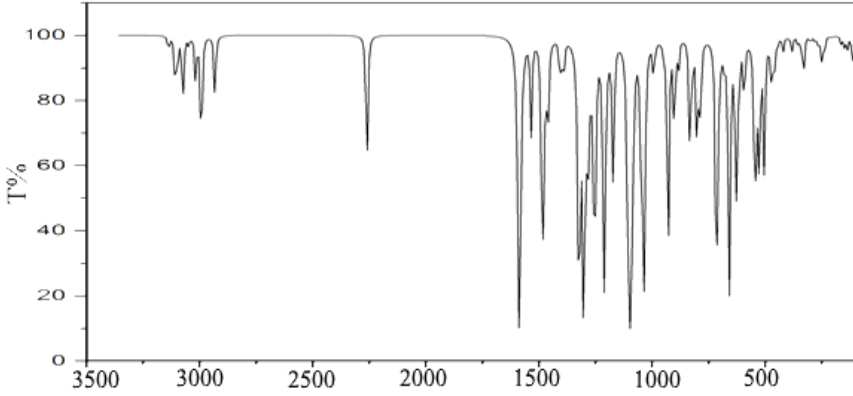
Şekil 3. Molekülün en kararlı optimize yapısı

Tüm hesaplamalar bu yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Moleküle ait C≡N, C-N (benzen), C-N (CH₂), N-S, S=O ve C-S bağ uzunluklarının ortalama değerleri sırasıyla, 1.16, 1.42, 1.48, 1.72, 1.47 ve 1.79 Å olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde S-N-C (benzen), S-N-C (CH₂), O-S-O ve N-S-C bağ açıları ise 122.15, 116.04, 119.42 ve 103.64° olarak hesaplanmıştır. FT-IR, spektros-

kopisi analiz tekniği kullanılarak sentezlenen bileŖinin yapısı deneysel olarak aydınlatılmıŖtır. Deneysel ve hesaplanan spektrumlar Ŗekil 4'de verilmiŖtir. *N,N'*-(etan-1,2-diol)bis(*N*-(3,4-disiyanofenil)-4-metilbenzensulfonamid'in IR spektrumunda, 3088 cm^{-1} CH gerilmeleri, 2231 cm^{-1} $\text{C}\equiv\text{N}$ gerilme, 1157 cm^{-1} SO₂ gerilme, 1596 cm^{-1} C=C (Aromatik) gerilme, 1487 cm^{-1} C-H d¼zlem içi (Aromatik) gerilme, 924 cm^{-1} CH d¼zlem dıŖı (Aromatik) gerilme titreŖimlerine ait pikler g¼zlenmiŖtir. Teorik olarak yapılan hesaplamalarda ise, C-H gerilme titreŖimleri 3341 cm^{-1} olarak hesaplanmıŖtır. Aromatik CH simetrik gerilme titreŖim frekans değerleri ise 3138-3070 cm^{-1} aralığında hesaplanmıŖtır. Asimetrik CH₂ ve CH₃ titreŖimleri sırasıyla, 3047 ve 2988 cm^{-1} olarak hesaplanırken bu gruplara ait simetrik titreŖim frekansları ise 2993 ve 2932 cm^{-1} olarak hesaplanmıŖtır. Son olarak, Aromatik C-C, S=O, aromatik d¼zlem içi CH ve d¼zlem dıŖı CH titreŖim frekansları sırasıyla, 1589, 1252, 1484 ve 943 cm^{-1} olarak hesaplanmıŖtır. Hesaplanan ¹H ve ¹³C NMR spektrumlarında aromatik CH protonları 7.02-7.60 ppm'de, CH₃ ve CH₂ protonlarına karŖılık gelen pikler ise sırasıyla, 1.81-2.25 ve 3.79-4.37 ppm değerlerinde g¼zlenmiŖtir. Benzen halkasında N atomlarına komŖu C atomlarına ait karbon pikleri 49 ppm, CH₂ grubuna ait karbon pikleri 141 ppm, $\text{C}\equiv\text{N}$ grubuna ait karbon pikleri 83 ppm ve S atomuna komŖu olan C atomlarına ait pikler ise 58 ppm olarak hesaplanmıŖtır.



(a)

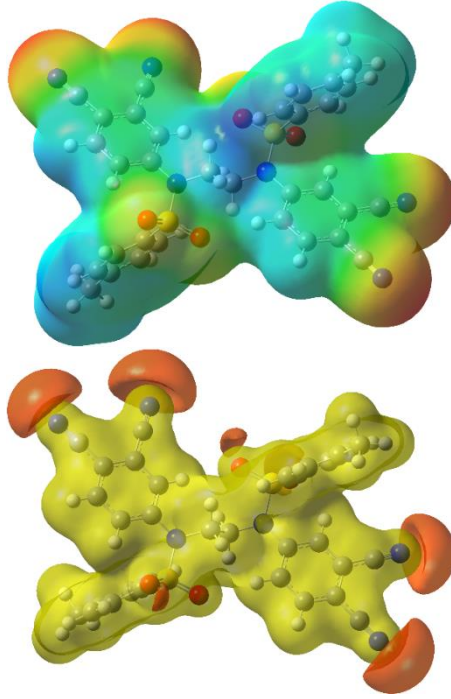


(b)

Şekil 4. Molekülün (a) deneysel (b) hesaplanan IR spektrumları

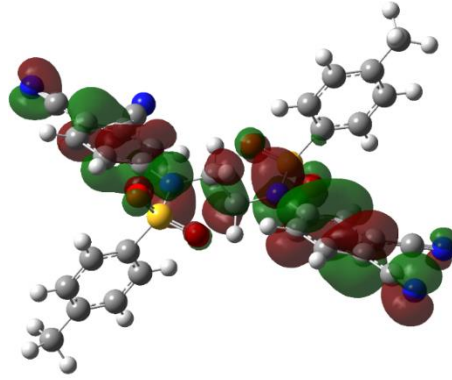
Moleküler Elektrostatik Potansiyel Yüzey Analizi (MEP) ve Frontier Moleküler Orbitalleri (FMO)

Moleküllere ait elektronların ürettiği net elektrostatik etki ve yük dağılımı MEP yüzeyi gösterir (Murray ve Sen, 1996). MEP yüzeyi moleküller arası etkileşimlerin yerini belirleyebileceği gibi nükleofilik ve elektrofillik atak bölgelerini de göstermektedir (Luque ve ark., 2000). Molekül üzerindeki kırmızı ve mavi bölgeler sırasıyla elektronca zengin ve fakir bölgeleri olan bölgeleri göstermektedir. Moleküler arası etkileşimlerde akseptör atomu kırmızı ve sarı, donör atomu ise mavi renk ile atom etrafında temsil edilir. Şekil 5'de bileşiğin MEP yüzeyi, N ve O atomlarının kırmızı renk ile gösterilen bölgede olup nükleofilik atağa, CH₃ grupları ise mavi renk ile gösterilen bölgelerde olup elektrofillik atağa maruz kalabileceğini göstermektedir.

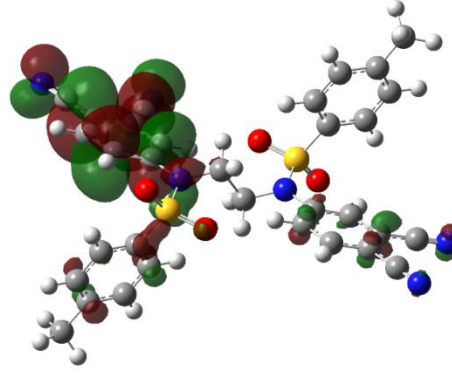


Şekil 5. Kristalin gaussian 09 programı ile elde edilen MEP yüzey analizleri

HOMO-LUMO orbitalleri moleküllerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir belirleyicidir. Bu iki enerji seviyesi arasındaki fark molekülün kimyasal kararlılığının ve elektron iletkenliğinin bir ölçüsüdür. Ayrıca moleküllerin kimyasal ve spektroskopik özelliklerinin belirlenmesinde bir göstergedir (Atkins, 1992). Hesaplamalar gaz fazında gerçekleştirilmiş olup, molekülün HOMO ve LUMO enerji değerleri sırasıyla, -6.89 ve -2.29 eV olarak hesaplanmış (Şekil 6) ve bu orbitaller arasındaki enerji farkı ise ($\Delta E = E_{LUMO} - E_{HOMO}$), 4.60 eV değerinde bulunmuştur.



(a) HOMO (-6.89 eV)



(b) LUMO (-2.29 eV)

Şekil 7. Molekülün (a) HOMO (b) LUMO orbitalleri ve enerjileri

3. SONUÇ

N,N'-(etan-1,2-diol)bis(*N*-(3,4-disiyanofenil)-4-metilbenzensülfonamid) moleküler yapısı deneysel ve teorik yöntemler kullanılarak, IR ve NMR spektrumları incelenmiştir. Ayrıca bileşiğin bazı bağ uzunlukları ve bağ açıları DFT/B3LYP/6-31G (d) teoremi kullanılarak hesaplanmıştır. Molekülün HOMO-LUMO orbitallerinin yerleştiği bölgeler belirlenmiş olup, iki enerji seviyesi arasındaki farkın 4.60 eV olduğu hesaplanmıştır. Son olarak, MEP yüzey analizi, N ve O atomlarının nükleofilik, metil gruplarının ise elektrofillik atığa eğilimli olduğunu göstermiştir.

Teşekkür: Bu çalışma, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi (PYO-MYO.4001.14.002) tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Atkins P.W. (1992). The elements of physical chemistry (Oxford University Press Oxford United Kingdom).
- Becke A.D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, *The Journal of Chemical Physics*, 98, 5648-52.
- Durmuş, M., Bıyıklıoğlu, Z. & Kantekin, H. (2009). *Synth. Met.* 159, 1563–1571.
- Frisch M., Trucks, G., Schlegel, H.B., Scuseria, G., Robb, M., Cheeseman, J., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B. & Petersson, G. (2009). Gaussian 09, revision a. 02, gaussian, Inc., Wallingford, CT, 200.
- Foresman J.B. & Frisch A. (1996). Exploring chemistry with electronic structure methods: a guide to using Gaussian.
- Gürek, A., Ahsen, V., Gül, A. & Bekaroglu, Ö. (1991). Synthesis and Characterization of a new Copper(II) Phthalocyaninato Substituted With Four 15 Membered Tetraaza Macrocycles its Water-Soluble Pentanuclear Complexes. *Journal of Chemical Society, Dalton Transactions*, 3367– 3371.
- Gok, H.Z., Ocak, U., H. Kantekin, H. & Alp, H. (2007). *Transition Met. Chem. (Dordrecht, Neth.)*32,1073–1078.
- Liotta, C. L. (1978). *Synthetic Multidentate Macrocyclic Compounds*, Academic Pres, New York.
- Lee C., Yang, W. & Parr, R.G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density, *Physical review B*, 37, 785.
- Luque, F.J., López, J.M., & Orozco, M. (2000). Perspective on “Electrostatic interactions of a solute with a continuum. A direct utilization of ab initio molecular potentials for the prediction of solvent effects”. *Theoretical Chemistry Accounts*, 103, 343-345.
- Massah A. R., Kazemi, F., Azadi, D., Farzaneh, S., Aliyan, H., Naghash, H.J. and Momeni A (2006). A mild and chemose-

- lective solvent-free method for the synthesis of N-aryl and N-alkylsulfonamides. *Letters in Organic Chemistry*, 3(3), 235-241.
- Murray, J.S., & Sen, K. (1996). *Molecular electrostatic potentials: concepts and applications*. Elsevier.
- Pedersen, C.J. (1967). Cyclic Polyethers and Their Complexes with Metal Salts. *J. Am. Chem. Soc.* 89, 2495.
- Rajakumar, P., & Rasheed, M.A. (2005). Synthesis, Characterization and ion transportation studies of some novel cyclophane amides. *Tetrahedron*, 61, 5351-5362.
- Zhao, M. (2004). *Peripherally Functionalized Porphyrazines: Synthesis and Characterization of Schiff Base Tetraazaporphyrins*. Northwestern University, Evanston, Illinois, 205s (2-17s).

Scenario-Based Tsunami Hazard Assessment For Java (Sunda) Trench Using Monte Carlo Simulations

Cuneyt Yavuz ^{1*}, Elcin Kentel ²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sirnak University, Sirnak, Turkey; cyavuz@sirnak.edu.tr

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey; ekentel@metu.edu.tr

* Corresponding Author; cyavuz@sirnak.edu.tr; Tel. +90 505 719 2950

Received Date: 16/04/2019

Accepted Date: 15/06/2019

ABSTRACT

Java (Sunda) trench lying along the eastern and southern coasts of Indonesia is one of the world's most active seismic zone. Java (Sunda) trench experienced devastating earthquakes and tsunamis throughout history. Despite the fact that about 14 years have passed since the 2004 Indian Ocean earthquake and tsunami, the seismic activity in this region is still intense. Thus, reliable estimation of the associated hazard of a possible large earthquake that can generate tsunami is vital for designing early warning systems, site selection of future critical infrastructures (CIs) and planning necessary mitigation measures for existing CIs and critical regions (CRs). Therefore, Scenario-based Tsunami Hazard Assessment (STHA) is performed for this region in this study. Historical earthquake data is compiled using ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue for the region. Monte Carlo (MC) simulation method is used to generate random earthquake source parameters (i.e. magnitude, focal depth) along Java (Sunda) trench. The worst-case scenario among MC runs is selected and simulated using NAMI-DANCE tsunami simulation software. Critical Regions (CRs) and Critical Infrastructures (CIs) are identified and spatial distribution of the inundation levels along the eastern and southern coastline of Sumatra and Java Islands, focusing on these CRs and CIs is determined. It is observed that some of the CRs and CIs are vulnerable to potential high-risk tsunamis.

Keywords: Scenario-based tsunami hazard assessment; Monte Carlo; NAMI-DANCE; Critical regions; Critical Infrastructures

Monte Carlo Simülasyonu Kullanılarak Java (Sunda) Fay Hattı için Senaryo Bazlı Tsunami Tehlike Analizi

ÖZET

Endonezya'nın doğu ve güney kıyıları boyunca uzanan Java (Sunda) fay hattı dünyadaki en aktif sismik alanlardan biridir. Tarih boyunca Java (Sunda) fayında yıkıcı depremler ve tsunamiler oluşmuştur. 2004 Hint Okyanusu depremi ve tsunamisinin üzerinden 14 yıl geçmiş olmasına rağmen bu bölgedeki sismik aktivite hala yoğun bir şekilde devam etmektedir. Erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, gelecekteki yapıların lokasyonlarının belirlenmesi ve mevcut kritik yapılar ve bölgeler için risk azaltıcı önlemlerin alınması gibi konular için güvenilir bir tsunami tehlike analizi yapılması hayati önem taşımaktadır. Bu kriterler göz önüne alınarak bu çalışmada senaryo bazlı tsunami tehlike analizi (STHA) çalışılmıştır. Tarihsel deprem verisi ISC-GEM Küresel Deprem Kataloğundan derlenmiştir. Java (Sunda) fayı boyunca rastgele deprem verisi (magnitüt ve fokal derinlik) üretmek için Monte Carlo (MC) simülasyonu kullanılmıştır. Üretilen veriden en kötü senaryo seçilmiş ve NAMI-DANCE yazılımı kullanılarak tsunami simülasyonu yapılmıştır. Belirli kritik bölgeler ve altyapılar için tsunami dalga yükseklikleri belirlenmiş ve su altında kalan bölgeler ArcGIS programı kullanılarak gösterilmiştir. Bazı kritik bölge ve altyapıların yüksek seviyede risk potansiyeli taşıdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Senaryo bazlı tsunami tehlike analizi, Monte Carlo, NAMI-DANCE, Kritik bölgeler, Kritik Altyapılar

1. INTRODUCTION

Tsunami hazard assessment (THA) has been a major concern in the scientific community over the last two decades (Yalciner et al., 2004; González et al., 2009; Knighton and Bastidas, 2015). THA provides information on potential places to be inundated by tsunami for a specified region. THA studies has been conducted on multiple levels including investigation of historical tsunami events, numerical modelling of the historical and probabilistic events with wide-ranging aspects, and worst case scenarios for different locations and sources. As an example, Strunz et al., (2011) performed an investigation about tsunami hazard assessment in the framework of the German Indonesian Tsunami Early Warning System (GITEWS). The method was applied for the coastal areas of Southern Sumatra, Java and Bali. A comprehensive people-centered tsunami hazard assessment and disaster risk reduction analysis were implemented to develop a scientific and technical approach for

tsunami risk assessment. Following components was investigated to evaluate the risk.

- Hazard Assessment – provides information about the geographical extent of inundation and the probabilities that these areas are likely to be affected.
- Vulnerability Assessment – provides information about the losses and damages with respect to social, economic and environmental aspects.
- Preparedness Assessment – characterizes possible limitations which inhibit the community to respond adequately and efficiently.

Another study was performed by Hancilar (2012) to investigate the social and physical aspects of the risk for a possible tsunami for Istanbul. Probabilistic tsunami hazard assessment (PTHA) was carried out for the city to identify the physical and social elements at risk. For this purpose, tsunamigenic seismic sources were investigated for the North Anatolian Fault branch lying under the Marmara Sea. Tsunamigenic seismic zone maps and geographical information for both Turkey and Marmara Sea region were presented. PTHAs were conducted based on the results of the project entitled “Simulation and Vulnerability Analysis of Tsunamis Affecting the Istanbul Coasts” performed by OYO Co. (2007) for Istanbul Metropolitan Municipality. For this project, 42 tsunami simulations were performed to generate $>M_w7$ earthquake. Built environment was classified depending on building attributes (e.g. construction material, number of storey, and usage type). Critical infrastructures like piers, ports, oil stations etc. were also taken into account to define elements at risk along the coastline. After conducting number of PTHAs for Istanbul, it was concluded that western coasts are less risky than the eastern coastlines.

In this study, STHA is conducted for southern coasts of Indonesia (i.e. Java, Bali, and Lombok Islands). Random data is generated considering the independent parameters of earthquake (i.e. moment magnitude, focal depth) using Monte Carlo simulation method. The worst-case scenario is identified and simulated for the study area and inundation levels for 14 different locations which contains Critical Regions, CRs, and Critical Infrastructures, CIs, are mapped.

2. MATERIAL and METHOD

2.1 Monte Carlo Simulation Method

Monte Carlo Simulation method is used to generate random data for the independent parameters (i.e. magnitude and focal depth) of the earthquake source. The application of the simulation is based on the following steps:

1. 219 historical earthquakes are selected for the study area (i.e. Sunda Trench) from ISC-GEM earthquake catalogue which contains more than 20000 earthquakes observed within 110 years for the period of 1900 – 2009 (Storchak et al., 2013).
2. Cumulative Distribution Functions, CDFs, of the independent data (i.e. magnitude and focal depth) are determined (see Figure 1).

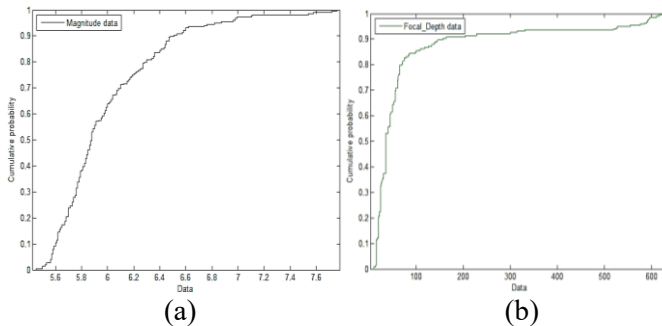


Figure 1. CDF of the historical data for (a) magnitude and (b) focal depth

1. Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test is applied for different type of distributions.
 2. The best distribution is fitted for the historical data.
- Random data is generated from the assigned distributions for moment magnitude and focal depth.

2.2 Earthquake Source Generation

Generation of earthquake source is one of the significant stages for spatial analysis of inundation in the study area. Earthquake source parameters are listed in Table 1.

Table 1 Earthquake Source parameters

Moment magnitude, M_w	: (Dimensionless)
Focal Depth	: (km)
Seismic moment, M_0	: Nm (or Dyne-cm)
Shear modulus of the crust, μ	: ($3 * 10^{11}$ dyne/cm ²)
Fault length, L	: (km)
Fault width, W	: (km)
Displacement, D	: (m)
Strike Angle	: (In degree)
Dip Angle	: (In degree)
Rake Angle	: (In degree)
Longitude	: (In degree)
Latitude	: (In degree)

Moment magnitude, M_w and focal depth are independent parameters of the source. Seismic moment is a function of the shear modulus of the crust, fault length, fault width and displacement. The angles are directly dependent on the fault attributes.

Earthquakes also were classified depending on whether they occurred within an active plate margin or a stable continental region. Hanks and Kanamori (1979) mentioned that seismic moment, M_0 demonstrates the relationship between the source parameters and earthquake size. For crustal faults, seismic moment can be formulated as (Hanks and Kanamori, 1979):

$$M_0 = \mu LWD \quad (1)$$

There is also a physically meaningful relationship between the seismic moment and the moment magnitude of an earthquake and it is formulated (Hanks and Kanamori, 1979) as:

$$M_w = \frac{2}{3} * \log(M_0) - 10.7 \quad (2)$$

In the literature, it is known that earthquake magnitude is correlated with the rupture length. Lower bound of the moment magnitude, M_w , was set at 4.7 to refrain from the aftershocks for the regressions on surface rupture length and rupture area (Wells and Coppersmith, 1994). Wells and Coppersmith (1994) compared the rupture length values with the measured ones by inspecting the maps and figures. As the magnitude of the earthquake increases,

surface rupture length is more reliable than the subsurface rupture length. The earthquakes for regression analyses depending on the surface rupture lengths if the following criteria are satisfied (Wells and Coppersmith, 1994):

- Rupture length uncertainty should not exceed 20% of the average total length.
- There should be at least one estimation about the surface displacement.
- Rupture length of multiple earthquakes should be known.

Displacement is generally poorly documented for many earthquakes contrary to the available information on surface rupture length. However, field researches and theoretical investigations of seismic moment show that there should be close correlation between the magnitude and displacement along the ruptured fault. To generate a regression analyses related to displacement, major sources of uncertainties and assessment of some criteria on historical data was investigated in detail.

Wells and Coppersmith (1994) performed some studies on empirical relationships among the compiled earthquake source parameters like seismic moment, M_0 , moment magnitude, M_w , fault length, L , fault width, W , and average surface displacement, D , for global historical earthquakes. Historical earthquake data was inspected and divided as reliable and unreliable by Wells and Coppersmith (1994). 244 historical earthquakes which have reliable data for all source parameters from a data base were inspected in order to develop some empirical relationships among different source parameters. The following empirical relationships were generated by Wells and Coppersmith, (1994), and obtained from the regression analyses of the real data examined in detail and used to calculate the source parameters which will be performed to generate simulations of the earthquakes in this study. Equation 3 shows the regression of fault length, L , on magnitude M_w (Wells and Coppersmith, 1994).

$$M_w = 4.38 + 1.49 * \log(L) \quad (3)$$

Equation 4 shows the regression of fault width, W , on magnitude M_w (Wells and Coppersmith, 1994).

$$M_w = 4.06 + 2.25 * \log(W) \quad (4)$$

In this study, M_w and focal depth are randomly selected from the data generated with Monte Carlo Simulation method. L , W , and D is calculated using the empirical equations provided in the literature. Longitude, latitude, strike angle, dip angle, and rake angle are randomly selected from historical earthquake database compiled for Java (Sunda) trench.

2.3 Inundation Computations

Different numerical models have been generated for tsunami simulations since 1960's. Some of the most commonly used Tsunami modelling software are TUNAMI N1 (Imamura, 1995), MOST (Titov, 1999), NAMI DANCE (Zaytsev and Yalçiner, 2006) and SIFT (NOAA, 2015). In this study, NAMI-DANCE is used to simulate tsunamis originating in the selected area. NAMI-DANCE uses finite difference method to solve non-linear shallow water wave equations to analyze and compute generation, propagation and amplification of selected tsunamis depending on the source parameters using seismic source characteristics. The model computes all components of tsunamis in shallow waters and the inundation zones in specified region.

NAMI-DANCE runs the shallow water equations which are bounded with sea surface and the bottom topography. Shallow water equations precisely describe the tsunami propagation with long wave assumption (Segur, 2007). The long wave assumption can be described as a wavelength, L_w , sufficiently long as compared with the water depth, h_w : $L_w \gg h_w$. In order to derive the shallow water equations, global conservation of mass should be considered. Continuity equation should be satisfied for all conditions.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta u}{\partial x} + \frac{\partial \eta v}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

where η is the vertical free surface displacement, t is time and u, v are the velocity components.

Assuming that there is no vertical velocity variations and vertical pressure gradients are nearly hydrostatic, the momentum equations and continuity equation of shallow water condition can be written as (Segur, 2007):

$$\frac{\partial \eta u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\eta u^2 + \frac{1}{2} g \eta^2 \right) + \frac{\partial \eta u v}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial \eta v}{\partial t} + \frac{\partial \eta u v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\eta v + \frac{1}{2} g \eta^2 \right) = 0 \quad (7)$$

Both of these equations together generate the parts of the shallow water equations in case of no coriolis, frictional or viscous forces.

2.4 Calculation of Run-up Levels

It is too difficult to estimate the run-up levels and inundated areas in such a large and course bathymetry. Therefore, 14 gauges are digitized at 50 m water depth offshore to determine the nonbreaking tsunami waves. Green's Law is used to carry tsunami wave heights recorded at the gauges implemented at 50 m water depth offshore to the coast. A similar approach was used by Lovholt et al., (2012) and Lovholt et al., (2014) and it was concluded that reliable results were obtained according to their investigations. Synolakis (1991) revealed Green's law equation as follows:

$$\frac{H_1}{H_{50}} = \left(\frac{d_{50}}{d_1} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (8)$$

where H_{50} and H_1 are the tsunami wave heights at 50 m and 1 m water depths, respectively and d_{50} and d_1 are 50 m and 1 m water depths, respectively.

Definitions of the solitary wave run-up equation components can be seen in Figure 2.

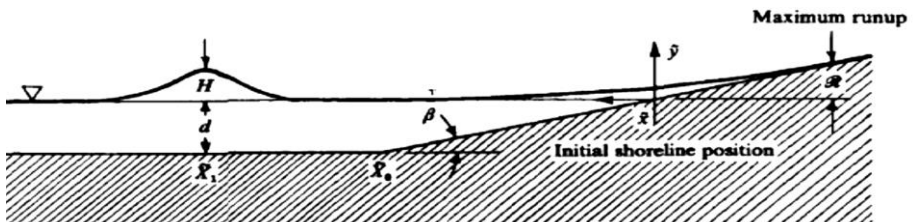


Figure 2. Definition sketch of the solitary wave equation components (Synolakis, 1991)

3. STUDY AREA

3.1 Generation of the Bathymetry of the Study area

Accurate bathymetry and reliable source parameters are needed to generate a coastal tsunami and conduct hazard mapping of the selected region. In this study, a bathymetry of $312 \times 312 \text{ m}^2$ grid size is generated using GEBCO dataset (see Figure 3).

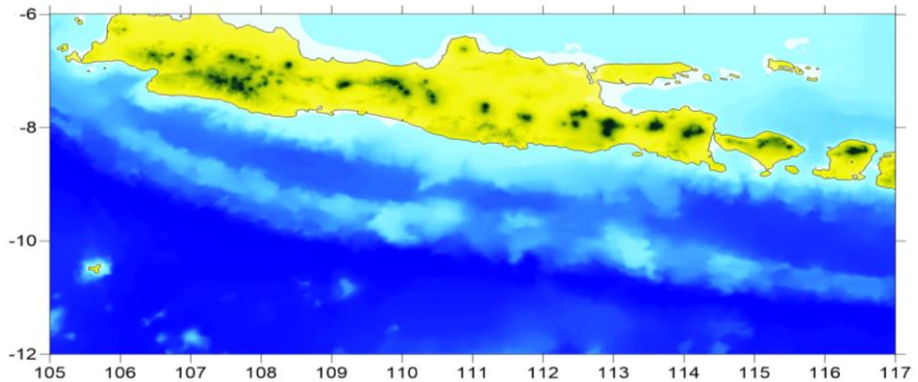


Figure 3. Bathymetry of the selected region

3.2 Computational Grids

Digital elevation maps (DEM) with 30 m resolution of the selected locations are retrieved from Shuttle Radar Topography Mission, SRTM (Available at: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), and digitized in ArcGIS (see Figure 4).

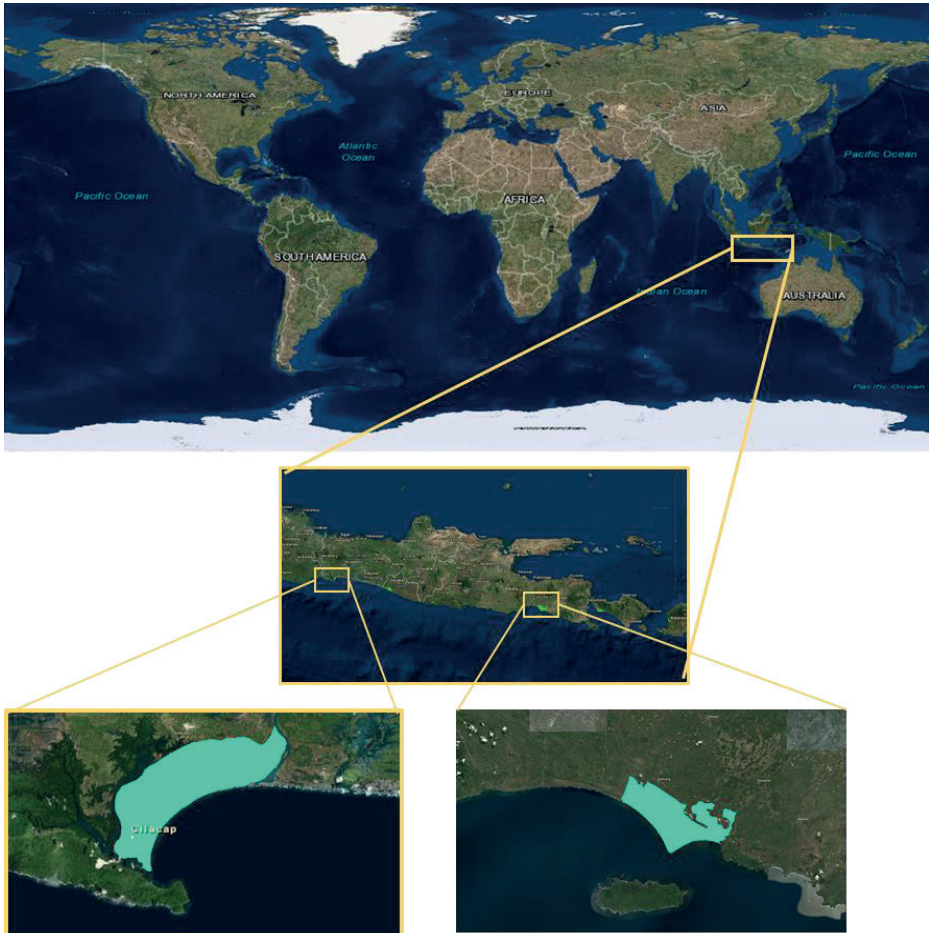


Figure 4. DEMs of the selected sample locations (i.e. Cilacap_City_Center and Kencong_plain) in the study area

4. RESULTS and DISCUSSION

4.1 Application of Monte Carlo Simulation

CDFs of the moment magnitude and focal depth are determined. In order to check goodness of fit test Kolmogorov-Smirnov goodness of fit test is applied and the results of the test are given in Table 2.

Table 2. Results of the goodness of fit test

Parameter	Distribution	Components	p-value	Alpha-value
Magnitude	Normal	mu = 6.0026, sigma = 0.415666	1.31E-04	0.01 - 0.05
	Lognormal	mu = 1.78996, sigma = 0.0659772	1.69E-04	0.01 - 0.05
	Weibull	a = 6.21294, b = 11.5857	3.18E-09	0.01 - 0.05
Focal Depth	Lognormal	mu = 3.81231, sigma = 0.938139	6.23E-05	0.01 - 0.05
	Gamma	a = 0.944899, b = 88.5887	1.64E-12	0.01 - 0.05

Depending on the p-values for 5% confidence interval, Weibull distribution and Gamma distribution are fitted to moment magnitude and focal depth, respectively.

After the completion of distribution fitting stage, 5000 random data are generated using the following script in Matlab (see Table 3).

The probability of the worst-case scenario is $\frac{1}{5000}$. This means that the selected return period of the worst-case scenario is 5000 years in this study.

Table 3. Scripts used to generate random data for moment magnitude and focal depth

pd=fitdist(Magnitude,'Weibull')
Random_Magnitude_Weibull=wblrnd(6.21294,11.5857,[5000,1]);
[h,p,ks2stat] = kstest2(Magnitude,Random_Magnitude_Weibull)
pd=fitdist(Historical_Focal_Depth,'Gamma')
Random_Focal_Depth=gamrnd(1.34612,24.6262,[5000,1])
[h,p,ks2stat] = kstest2(Historical_Focal_Depth,Random_Focal_Depth)

4.2 Generation of Earthquake Source

Since the goal is to simulate the worst-case scenario that is generated using the historical earthquake records for the study area along Java (Sunda) Trench, the maximum moment magnitude (i.e. $M_w 7.7$) is selected from Monte Carlo simulation results. Related source parameters of the worst-case scenario are given in Table 4.

Table 4. Simulated earthquake source parameters for the worst-case scenario

Simulated Earthquake Source Parameters				
Moment Magnitude	Focal Depth (km)	Fault Length (km)	Fault Width (km)	Displacement (m)
7.7	25	174	42	1.93
Latitude	Longitude	Strike Angle	Dip Angle	Rake Angle
-9.328	107.323	54	10	110

Tsunami simulation of the earthquake is conducted using NAMI-DANCE software. The duration of the simulation is selected 18000 seconds (5 hours). The source location and the propagation of the tsunami wave at $t=2460$ seconds are shown in Figure 5 and Figure 6, respectively.

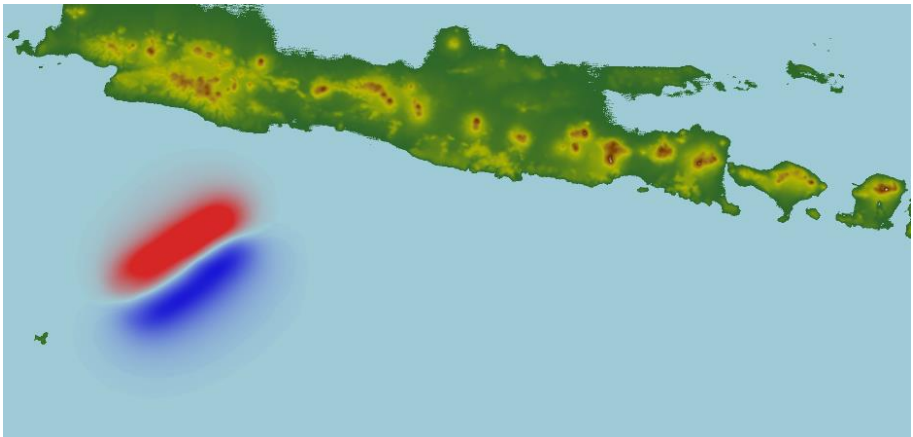


Figure 5. Source location of the simulated earthquake

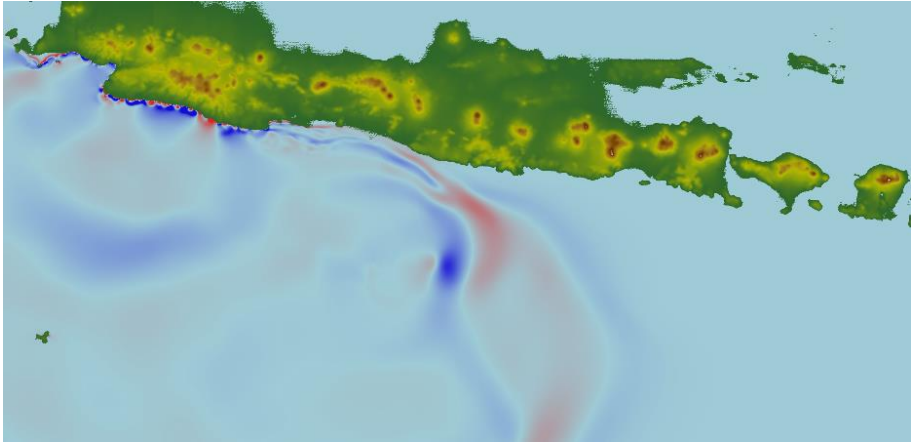


Figure 6. Tsunami wave propagation of the earthquake ($t= 2460$ s)

4.3 Run-up Levels at the selected CRs and CIs

List of the selected locations and maximum run-up levels calculated using Eq. 8 proposed by Synolakis (1987), can be seen in Table 5.

Table 5. List of the selected locations and maximum run-up levels

Name of gauge pt.	Maximum(+ve amp.(m)	Maximum(-ve amp.(m)	Run_up_levels
Kuta_City_Center_Bali	0.075655	-0.0779599	1.62
Mataram_City_Center	0.0474563	-0.0496888	0.44
Negara_Pulukan_Coastline	0.0765944	-0.061612	0.67
Banyuwangi	0.0348108	-0.0301499	0.58
Muntjar	0.0348108	-0.0301499	0.58
Kesilir_Agricultural_Area	0.150288	-0.161984	3.72
Kencong_Plain	0.134081	-0.137799	1.47
Pantai_Tambakrejo	0.223742	-0.247893	3.81
Pantai_Sidem	0.194702	-0.208337	3.79
Panggul	0.27241	-0.197617	5.48
Pacitan	0.189631	-0.216572	4.34
Wates_Coastal_District	0.0849766	-0.125502	2.03
Petanahan_Coastal_District	0.0452637	-0.0541443	1.15
Cilacap_City_Center	0.100479	-0.100082	2.67
Cikangkung_Coastal_District	0.14801	-0.105887	2.15

Calculated run-up levels as the result of the selected worst case earthquake are used to generate tsunami hazard map for the areas that contain CRs and CIs. Sample tsunami hazard maps for Kuta city center and Muntjar city center are given in Figure 7 and for Wates coastal district and Cilacap city center in Figure 8.

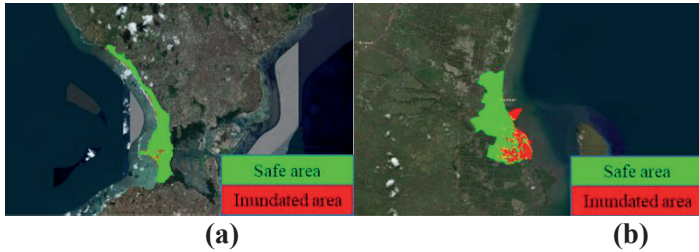


Figure 7. Scenario-based tsunami hazard map for (a) Kuta city center (not to scale) and (b) Muntjar city center (not to scale)

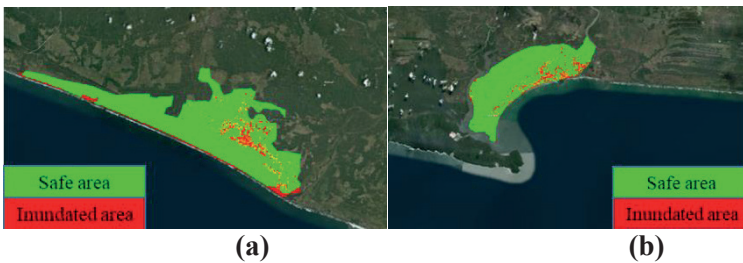


Figure 8. Scenario-based tsunami hazard map for (a) Wates coastal district (not to scale) and (b) Cilacap city center (not to scale)

5. CONCLUSION

In the present study, a probabilistic tsunami hazard assessment (PTHA) approach is conducted using Monte Carlo simulation method. Independent parameters of the earthquake are defined using Monte Carlo simulation technique and the worst case scenario is simulated using NAMI-DANCE software. A total of 14 different CR and CI locations along southern coasts of Indonesia covering Java, Bali, and Lombok islands are identified and hazard maps are generated for these areas. Run-up levels are calculated using the empirical equation proposed by Synolakis (1987). Inundated areas are depicted using the DEMs retrieved from SRTM with 30 m resolutions. Since the simulated area is restricted with the selected bathymetry and a total of 5000 MC simulations are used, higher run-

up levels and inundations might be observed along these locations due to larger earthquakes (i.e. $>M_w7.7$). The hazard maps of the region will help to identify areas that need mitigation measures most and consequently reduce destructive effects of tsunamis that may happen due to earthquakes in the Indian Ocean.

REFERENCES

- Yalciner, A., Pelinovsky, E., Talipova, T., Kurkin, A., Kozelkov, A., & Zaitsev, A. (2004). Tsunamis in the Black Sea: comparison of the historical, instrumental, and numerical data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C12).
- González, F. I., Geist, E. L., Jaffe, B., Kânoğlu, U., Mofjeld, H., Synolakis, C. E., ... & Horning, T. (2009). Probabilistic tsunami hazard assessment at seaside, Oregon, for near-and far-field seismic sources. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C11).
- GTZ-GITEWS (2010a) Tsunami evacuation plan for Kelurahan Kuta, Bali: a documentation of the process and results of tsunami evacuation planning. http://www.gitews.org/tsunami-kit/en/id_tsunami_evacuation_map_kuta.html
- Knighton, J., & Bastidas, L. A. (2015). A proposed probabilistic seismic tsunami hazard analysis methodology. *Natural Hazards*, 78(1), 699-723.
- Strunz, G., Post, J., Zosseder, K., Wegscheider, S., Mück, M., Riedlinger, T., ... & Harjono, H. (2011). Tsunami risk assessment in Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (11), 67-82.
- Hancilar, U. (2012). Identification of elements at risk for a credible tsunami event for Istanbul. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(1), 107.
- OYO International Co.: Simulation and Vulnerability Analysis of Tsunamis Affecting the Istanbul Coasts, Final Report to Istanbul Metropolitan Municipality, Directorate of Earthquake and Ground Investigation, Istanbul, 2007.
- Storchak, D. A., Di Giacomo, D., Bondár, I., Engdahl, E. R., Harris, J., Lee, W. H., ... & Bormann, P. (2013). Public release of the ISC–GEM global instrumental earthquake catalogue

(1900–2009). *Seismological Research Letters*, 84(5), 810-815.

- Hanks, T. C. and H. Kanamori (1979). A moment-magnitude scale, *J. Geophys. Res.* 84, 2348-2350.
- Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.
- Imamura, F. (1995). Tsunami numerical simulation with the staggered leap-frog scheme (numerical code of TUNAMI-N1 and N2). Disaster Control Research Center, Tohoku University, 33.
- Titov, V. V., & Gonzalez, F. I. (1997). Implementation and testing of the method of splitting tsunami (MOST) model.
- Yalciner, A. C., Pelinovsky, E., Zaytsev, A., Kurkin, A., Ozer, C., & Karakus, H. (2006). NAMI DANCE Manual. Middle East Technical University, Civil Engineering Department, Ocean Engineering Research Center, Ankara, Turkey, <http://namidance.ce.metu.edu.tr/pdf/NAMIDANCE-version-5-9-manual.pdf>.
- Segur, H. (2007). Waves in shallow water, with emphasis on the tsunami of 2004. In *Tsunami and nonlinear waves* (pp. 3-29). Springer Berlin Heidelberg.
- Løvholt, F., Glimsdal, S., Harbitz, C. B., Zamora, N., Nadim, F., Peduzzi, P., & Smebye, H. (2012). Tsunami hazard and exposure on the global scale. *Earth-Science Reviews*, 110(1-4), 58-73.
- Løvholt, F., Glimsdal, S., Harbitz, C. B., Horspool, N., Smebye, H., De Bono, A., & Nadim, F. (2014). Global tsunami hazard and exposure due to large co-seismic slip. *International journal of disaster risk reduction*, 10, 406-418.
- Synolakis, C. E. (1991). Green's law and the evolution of solitary waves. *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*, 3(3), 490-491.

A Comparative Real-Time Speed Control of PMSM with Fuzzy Logic and ANN Based Vector Controller

Ezgi Güney^{1*}, Serap Karagöl², Memnun Demir³

¹ Sinop University; eguney@sinop.edu.tr

² Ondokuz Mayıs University; serap.karagol@omu.edu.tr

³ Sinop University; mdemir@sinop.edu.tr

* Ezgi Güney; eguney@sinop.edu.tr; Tel. +90 505 593 92 56

Received Date: 29/03/2019

Accepted Date: 25/06/2019

ABSTRACT

This paper presents, analyzed real-time speed control of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) under constant load by using Fuzzy Logic (FL) controller and recurrent Artificial Neural Network (ANN) controller. A closed loop PMSM drive system is improved using the mathematical model of the PMSM in Matlab / Simulink. Two types of controllers are used; the first controller is the real-time FL controller and the second controller is a real-time recurrent ANN controller in terms of smoother speed response. Whole drive systems are simulated in Matlab/Simulink program. The simulation results show that the focused ANN controller produce considerable control performance compare to the FL controller on controlling speed reference variations.

Keywords: PMSM; Artificial neural network; Fuzzy logic, Real-time control

SMSM'nin Bulanık Mantık ve YSA Tabanlı Vektör Kontrol Yöntemi ile Karşılaştırmalı Gerçek Zamanlı Hız Kontrolü

ÖZET

Bu çalışmada, Bulanık Mantık (BM) ve tekrarlayan Yapay Sinir Ağı (YSA) kontrol ünitesi kullanılarak Sabit Mıknatıslı Senkron Motorunun (SMSM) sabit yük altında gerçek zamanlı hız kontrolü sunulmaktadır. SMSM'nin matematiksel modeli kullanılarak Matlab / Simulink'te kapalı çevrim PMSM tahrik sistemi geliştirilmiştir. İki tip kontrolör kullanılmıştır; birinci denetleyici, gerçek zamanlı BM denetleyicisi ve ikinci denetleyici, daha yumuşak hız tepkisi açısından gerçek zamanlı bir tekrarlayan YSA denetleyicisidir. Tüm tahrik sistemleri Matlab / Simulink programında simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları, odaklanılan

YSA kontrolörünün, hız referansı değişikliklerini kontrol etmede BM kontrolörüne kıyasla önemli kontrol performansı sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: SMSM, yapay sinir ağları, bulanık mantık, gerçek zamanlı kontrol.

1. INTRODUCTION

Permanent magnet synchronous motor (PMSM) drives have been extensively used in industrial applications such as electrical vehicles, robotic automation, medical instruments, aircraft, especially in industrial servo applications (Shiny et al., 2014; Kumari, 2015; Asri et al., 2017) due to their advantages over other motors, which including high efficiency, high air gap flux density, small inertia, high power factor, high torque to inertia ratio and compactness (Plangklang et al., 2013; Birou et al., 2014; Habbi et al., 2016).

PMSM speed control is not easy because of the parameter and load torque variations. Due to the stimulation is ensured with a permanent magnet instead of a field winding, using DC supply and slip ring decrease the motor losses, maintenance and complexity in PMSM (Plangklang, 2013). To control the SMSM, V/f control, field oriented control (FOC) and direct torque control methods are used (Stulrajter et al., 2007; Xu et al., 2013). From among these methods, FOC techniques, which are extensively used in PMSM drives, converts the motor equations into a coordinate system so that rotates in synchronism with the rotor flux vector. With the aid of the FOC or vector control of PMSM drive, it is become easier to separate the torque and flux producing components of stator currents and controlling the motor like a DC motor. This technique allows fast dynamic response, less torque ripple and smooth starting for PMSM (Madhu and Mathew, 2013). FOCs implemented in various ways such as Proportional-Integral (PI), Artificial Neural Networks (ANNs) and Fuzzy Logic (FL) (Hasanien, 2011; Pemaikam, 2012; Rajasekhar et al., 2014; Reddy et al., 2016).

PI controller is generally used in the industry because of their ease in structure and implementation, good steady state accuracy, quick control and low costs. A PI resonant controller used for the sine-shaped test current (Ebersberger et al., 2013) and this paper is modified in (Seilmeier and Piepenbreier, 2014) that it directly pro-

vides a dc error signal without need for further demodulation and delay compensation. PI controller can even be used together with an optimization algorithm to improve the efficiency of PMSM. A typical PI controller with an estimator of zero-delay current (ZDC) value is enhanced for field oriented control of PMSM (Jarzebowicz et al., 2015). The ZDC estimation allows for selecting substantially higher controller gain. PMSM based on optimizing the parameters of the speed and torque PI-Controllers, using Krill Herd (KH) algorithm is presented and software show a satisfactory performance of the proposed controller against load disturbances as well as robustness against machine parameters' variations (Younesi and Tohid, 2015). In another work, it is proposed a combination of the Model Conclusiim Adaptive System (MRAS) scheme to estimate the speed information of the PMSM and the proportional integral (PI) scheme with the particle swarm optimization (PSO) to tune the PI gains used in the speed control of the PMSM (Abd Samat et al., 2016). However, it is not easy to determine proportional-integral parameters truly, so it is difficult to system to be stable and robust (Habbi and Sara, 2016).

FL controller has increasingly implemented in today's technologies for developing complicated control systems. A fuzzy logic based speed and current control of FOC of a PMSM is discussed and simulation results show the validity of proposed controllers (Mishra et al., 2015). In another work (Leu et al., 2011) fuzzy sliding mode speed controller for PMSM with load torque observer is proposed. Simulation and experimental results demonstrated that the proposed control system can both attenuate the chattering to the extent of other control methods and give a better transient performance in comparison with the non-fuzzy sliding mode controller. For speed control of PMSM, self-tuning fuzzy-PID controller and PID controller is designed to apply to speed control unit of PMSM. According to obtained simulation results, it is observed that Self-tuning fuzzy-PID controller provides better speed response than PID controller (Mustafa et al., 2015). For the sensorless speed control of PMSM, a fuzzy speed controller is proposed using Model Reference Adaptive System (MRAS) (Abdelnaby, 2015). When the load torque changes suddenly this algorithm decreases the rise time to reach the speed reference. Fuzzy logic control system is based on

human knowledge and experience and is used to model any system characteristics by a set of fuzzy values and rules that each rule base results in a mathematical function to generate the possible performance. However, the determination of membership functions and control rules is an important problem in a design, which needs designer's experiences to achieve convincing membership functions and control rules. However, FL based controllers are insufficient to include any learning previously acquired about the dynamics of the system (Murat and Ibrahim, 2011). Also, FLC has disadvantage because it based on the designer experience to design the rule base, input and output membership functions, which makes the design procedure complicated (Wibowo and Jeong, 2013).

Artificial intelligence based methods have a great robustness since its design is independent of mathematical models of the controlled system. A new nonlinear and adaptive backstepping speed and current control scheme in the sense of Lyapunov stability theory is developed for the PMSM (Karabacak and Eskikurt, 2011). The proposed method ensures that the speed and current tracking errors converge to zero asymptotically. A new nonlinear and full adaptive backstepping speed tracking control scheme is developed for an uncertain PMSM (Karabacak and Eskikurt, 2012; Coban, 2017). At the same time, real time implementation of these methods is very difficult due to its heavy computational effort and algorithm complexity.

Among adaptive nonlinear control methods in the literature, ANNs are very powerful in nonlinear systems. Moreover, ANN controller achieves outstanding performance at the expense of a heavy computation. ANN has many superiorities such as adaptation to unknown situations, modelling complex functions, ease of use, need of little user domain specific expertise at the same time. Although ANN have some disadvantages such as wide training time, wide number of neurons and hidden layers to overcome to complex problems (Thampatty and Raj, 2015). Real time recurrent learning algorithm is one of the most suitable architecture for real-time application.

In order to deal with the heavy computational effort and algorithm complexity, a new nonlinear and adaptive real time recurrent learning ANN and FL controller designs are proposed and compare

the performances design in this study. The paper is organized as follows. Section 2 includes PMSM's construction and mathematical equation. Section 3 deals with FL and ANN controller design to control of PMSM. Section 4 evaluates simulation results. Section 5 includes conclusion.

2. MATERIAL and METHOD

2.1 PMSM's construction and mathematical model

2.1.1 PMSM's construction

The PMSM is a constant-speed machine that rotates at a speed which depends on the source frequency and the number of poles. The PMSM structure; traditionally consists of three-phase windings in the stator and permanent magnets mounted on the rotor surface (surface PMSM). Sometimes the magnets are placed in the rotor (interior PMSM) in a rotor type. To create a constant magnetic field, permanent magnets are placed in the steel rotor. The stator windings are connected to an AC supply to produce a rotating magnetic field. The rotor is fed up with a DC supply. Due to the motor dynamics are nonlinear, multivariable and critical parameters are uncertain, controlling of these motors is reasonably complex. To obtain high efficient control, Field Oriented Control / Vector Control (FOC) approach is used. The new approach is based on controlling the magnitudes and angles of the space vectors. FOC provides an effective performance in electrical drives. In addition, vector control eliminates nearly all the disadvantages of constant V/f control (Stulrajter et al., 2007).

2.1.2 PMSM's mathematical model

The modeling of the dynamic behavior of the PMSM in the three-axis system is possible with time-varying coefficient differential equations and a very complicated model structure arises. For this reason, the PMSM mathematical model is usually explained with the rotating reference frame (d-q reference frame) equations. Vector control is a method to control the motor on the two-phase (d-q) coordinate system instead of the three-phase (u, v, w) coordinate system. The d-axis is set in the direction of the magnetic flux

(N pole) of the permanent magnet and the q-axis is set in the direction, which progresses, by 90 degrees (electrical) in the forward direction of the angle θ from the d-axis. Due to the absence of rotor winding current, only stator current can be controlled in an PMSM drive. In many similar studies, researchers assumed the i_d current to be '0' on the assumption that it made control easier (Qutubuddin and Yadaiah, 2017). Hence, we assumed that in the current controller that i_d current is zero. The mathematical model of PMSM in the d-q axis frame can be written by the following equations.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_s + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \psi_a \end{bmatrix}, \quad (1)$$

v_d and v_q are the d, q axis voltages, i_d and i_q are the d, q axis stator currents, L_d and L_q are the d, q axis inductances, p is the differential operator, ψ_a is the flux linkage due to permanent inductance while ω is the angular speed and R_s is the stator resistance the stator.

The generated torque given in Equation (2) is obtained by the sum of the magnet torque and the reluctance torque (Chaoui and Pierre, 2012).

$$T = P_n \{ \psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \}, \quad (2)$$

T is the motor torque and P_n is the pole pair number. The equation for the motor dynamics is;

$$T_e = T_L + B\omega_r + Jp\omega_r, \quad (3)$$

T_L is the load torque, B is the damping coefficient, ω_r is the rotor speed, and J is the moment of inertia. There is no variation among the d-axis and q-axis inductances in the PMSM and due to the reluctance torque is 0.

The total torque is proportional to the q-axis current. Hence, the q-axis current is called torque current. In two-phase (d, q) phase coordinate, the d-axis flux is sum of permanent magnet flux and flux generated by d-axis current. The d-axis current is called as excitation current, owing to the equivalent rotating stator flux is controlled by d-axis current. The (d-q) coordinate transformation is

performed with the Park transform by using a,b,c variables as defined in Equation (4):

$$\begin{bmatrix} v_q \\ v_d \\ v_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \quad (4)$$

a, b, c variables are obtained from the d, q variables through the inverse of the Park transform defined in Equation (5):

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta - 2\pi/3) & 1 \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v_q \\ v_d \\ v_0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Based on Equation (4) and (5), it can be considered that alternate current flowing in the stationary three-phase stator is equivalent to direct current flowing in the two-phase stator rotating synchronously with the permanent magnet operating as a rotor.

2.2 Controller Design

2.2.1 Real Time Recurrent ANN Structure

The real time recurrent learning algorithm is a successful learning algorithms due to the torage required and computation time on each step are free of time and entirely determined by the size of the network. In addition, it is not required to know prior knowledge of the temporal structure of the task being learned. In this algorithm, the gradient of errors is propagated forward in time rather than backward in time. Hence, it is particularly suitable for online training of recurrent neural networks (Jayalakshmi and Santhakumaran, 2011). The recurrent neural network architecture is a dynamic system, which is capable of storing temporal information (Thampatty and Raj, 2015). The outputs of recurrent neural network are not only a function of the current inputs, but also a function of previous inputs and outputs. In the first run, the network assigns weights randomly (Goh and Mandic, 2004; Guney et al., 2017). The architecture of ANN composes of an input layer, ten neurons in processing layer and an output layer, which is given in Figure 1.

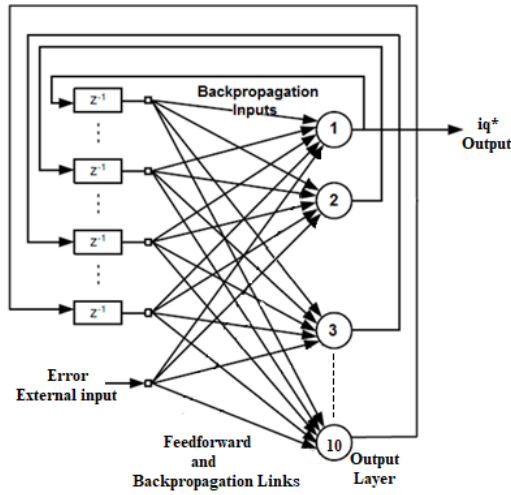


Figure 1. System multilayer feedforward-backpropagation ANN structure.

Once rotor performs the first round, the network starts to learn. For the network input knowledge, rotor speed value ω and reference speed value ω^* are used. Rotor speed value is send by the system developed. The reference speed is determined by user. The network generates error value using these two inputs and uses it for network training. The error is propagated backwards to modify the network weights. When the error reaches a minimum threshold, this process stops. The error value is passed to the ANN controller and the iq^* is determined (Wilamowski, 2009).

Due to the ANN's non-linearity characteristic, the data are normalized in the range [0 - 1] with the Min-Max Normalization method. In developed simulation model, the data range for X_{min} - X_{max} is determined as 0-200 and scaled according to the Equation (6).

$$X_n = \frac{X_0 - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}, \quad (6)$$

Where X_n is new value and X_0 is current value for variable X , X_{min} and X_{max} are minimum and maximum values in data set (Guney et al., 2017).

2.2.2 Recurrent ANN Controller

The simulation studies of PMSM with ANN speed control were performed in Matlab/Simulink environment using equations related to mathematical model of PMSM given in Section II. The implemented simulink model of PMSM with drive circuit using Matlab/Simulink software is given in Figure 2. The PMSM speed control system basically composed of PMSM, DC power supply, universal bridge, three-phase voltage inverter module, three phase V-I measurement and sub-system blocks. It is mentioned in Section III that the error value obtained from the reference speed ω^* and the instantaneous speed ω is applied to the input of the ANN controller input.

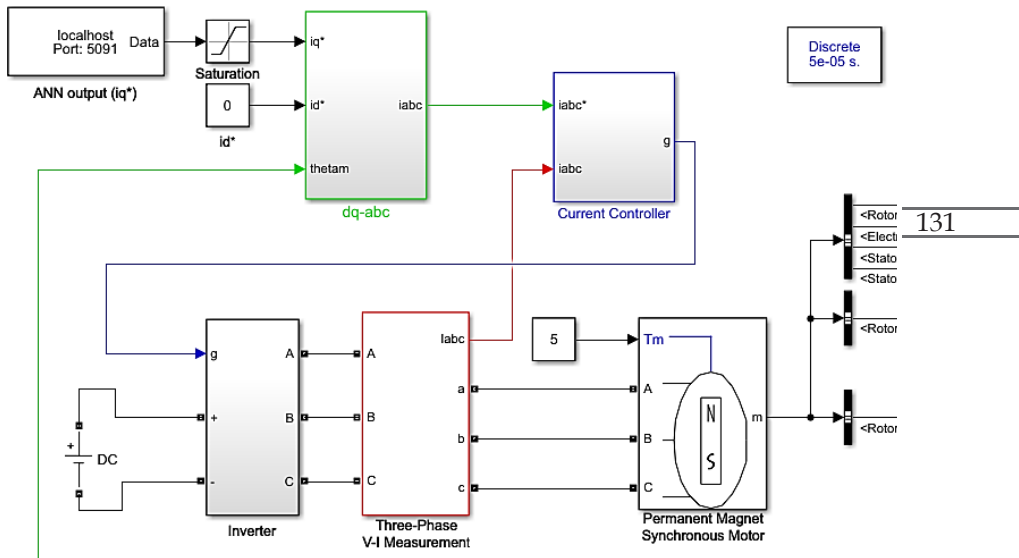


Figure 2. The PMSM speed control system's simulation model with ANN based Vector Control.

As an output of the ANN controller, the i_q^* reference current value is obtained. Due to the study of motor during transient and steady state, the dynamic d-q coordinate system is used. The d-q variables are converted to three phase currents i_{abc}^* by using Inverse Parks Transformation (Madhu and Mathew, 2013). The con-

tents of dq-abc's Matlab/Simulink simulation block is given in Figure 3.

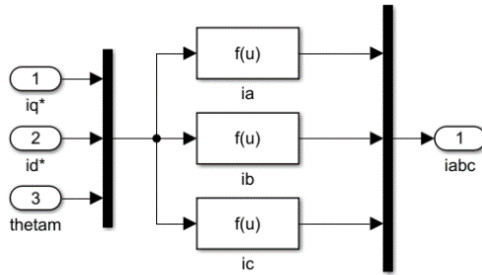


Figure 3. The dq-abc's Matlab/Simulink simulation block.

The current controller block generates the drive signals to be applied to the switches of the voltage source inverter to obtain the reference voltages. The current controller simulation block used in switching the inverter is given in Figure 4.

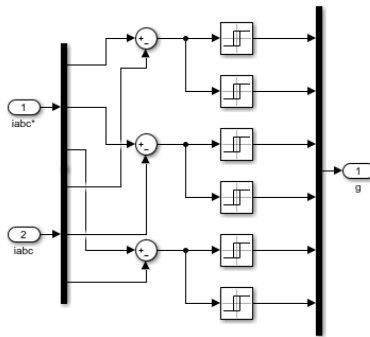


Figure 4. Current Controller Matlab/Simulink simulation block.

In Figure 5, the content of the voltage-source inverter Matlab/Simulink simulation block used to control PMSM is given.

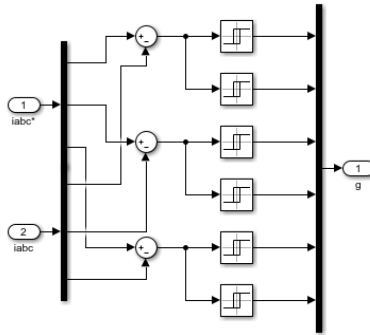


Figure 5. The contents of the inverter Matlab/Simulink simulation block.

2.2.3 Fuzzy Logic Controller

Fuzzy systems define the set and rules by associating all of the inputs with all of the outputs. Therefore, the working structure of fuzzy systems is similar to the way a mathematical reason-result function works. Fuzzy logic controller consists of four main units: fuzzifier, rules, inference engine, and defuzzifier. The fuzzy logic process is clarified as follows: In first step, which is fuzzification, a set of input data are gathered and converted to a fuzzy set using fuzzy linguistic variables, fuzzy linguistic terms and membership functions. Then, a deduction is made based on a set of rules. Finally, the fuzzy output is mapped to a new output using the membership functions, in the defuzzification step (Shiny et al., 2014). The structure of the fuzzy controller, which is chosen as the controller of the system is given in Figure 6.

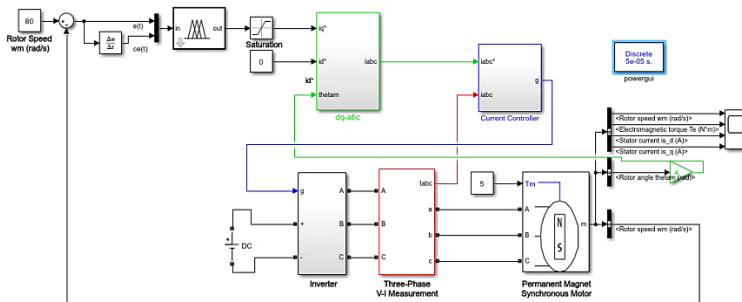


Figure 6 The PMSM speed control system’s simulation model with Fuzzy Logic based Vector Control.

In this paper, there are two inputs of the fuzzy logic controller: $e(t)$ speed error and $ce(t)$ change in speed error. i_q^* , the output variable, is also provided. Generally, the phase current (i_{abc}^*) are controlled by the speed controller that usually known as q axis current (i_q and i_d). The next step is choosing the membership function, which is modelled in Equation (7) and (8).

$$e(t) = \omega^* - \omega, \tag{7}$$

$$ce(t) = e(t) - e(t - 1) \tag{8}$$

Where ω^* is the speed reference, ω is the real speed, $e(t)$ is the speed error and $ce(t)$ is change in error. FL controller is created with two inputs and single output in Figure 7.

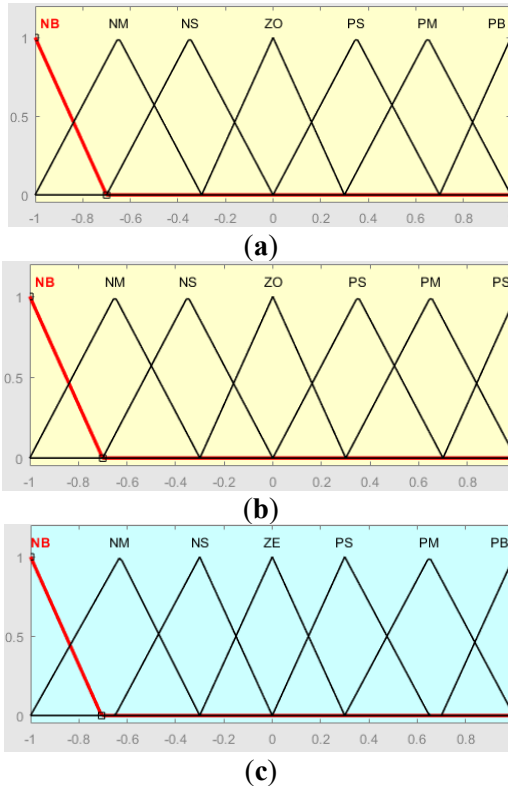


Figure 7. The membership function: (a) Error; (b) Derivative of error; (c) Output.

The fuzzy set used the triangular membership function to reduce calculation for on-line operation (Abd Samat et al., 2016). Table 1 shows the data based on the 49 rule base for the decision making unit.

Table 1. Rule base for speed control

/ce	B	N	M	N	S	N	E	Z	S	P	M	P	B
B	S	N	S	N	S	N	B	N	M	N	S	N	E
M	S	N	S	N	B	N	M	N	S	N	E	Z	S
S	S	N	B	N	M	N	S	N	E	Z	S	P	M
E	B	N	M	N	S	N	E	Z	S	P	M	P	B
S	M	N	S	Z	E	P	S	P	M	P	B	P	S
M	S	Z	E	P	S	P	M	P	B	P	S	P	B
B	E	S	M	M	B	B	S	S	B	B	B	B	B

For the PMSM speed control, Mamdani type fuzzy logic controller is preferred. Fuzzy numbers are calculated based on (t) and $ce(t)$ using the membership function of Figure 7. Each universe of discourse is divided into seven fuzzy sets: NB (negative big), NM (negative medium), NS (negative small), ZE (zero), PS (positive small), PM (positive medium) and PB (positive big). Each fuzzy variable is a member of the subsets with a degree of membership varying between $[-1, 1]$. Then, $e(t)$ and $ce(t)$ are processed by an inference engine that realizes a set of control rules contained in (7×7) rule bases. Because of the control rules are formulated using the knowledge of the PMSM behavior, the max-min inference algorithm is used (Shiny et al., 2014). In the defuzzification stage, inference engine output variable is converted into a new value by using centroid defuzzification algorithm.

3. RESULTS and DISCUSSION

The simulation was developed by using a Matlab/Simulink. The result of speed, torque, and current was observed and analyzed. The motor parameter that been used in this project is shown in Table 2.

Table 2. This PMSM parameters.

Description	Title 2	Title 3
Motor Inertia	J	0.0027 kg.m ²
d-axis Inductance	L_q	0.0085 H
q-axis Inductance	L_d	0.0085 H
Armature Resistance	R_a	0.2 Ω
Number of Pole Pair	P_n	8
Viscous Damping	F	0.000492 Nms

Several tests have been performed for variable speed values to evaluate the performances of the proposed FL and ANN controller based vector control of PMSM. Some of the sample results, which composed of speed, torque and current, are presented in this paper. The characteristic of the system is observed under different cases which is motor is started from 0 rad/s with constant torque and varied speed. The reference speed is firstly given a speed of 80 rad/s, which is then increased to 120 rad/s and 160 rad/s in same load torque.

Simulation results are given when the motor is run under the load torque condition at rated of 5 Nm with constant speed of 80 rpm as shown in Figure 8 (a) and Figure 8 (b).

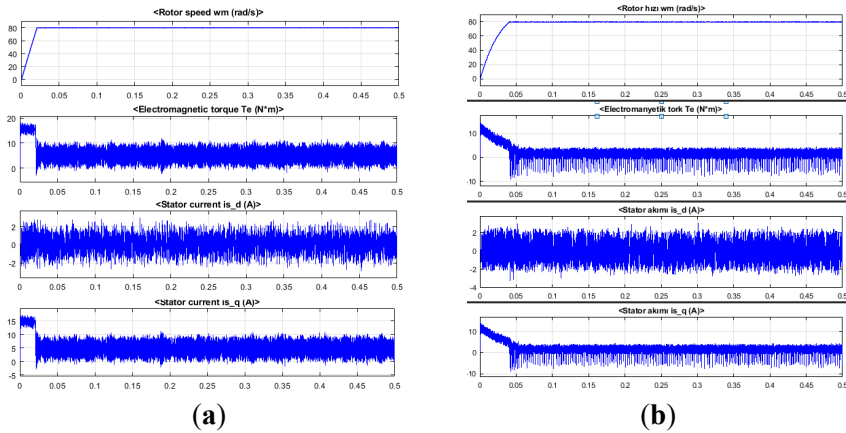


Figure 8. Simulation results for 80 rad/s reference speed and 5 N.m load condition (rotor speed, electromagnetic torque, stator current i_d and stator current i_q) for: (a) FL controller; (b) ANN controller.

Speed increases linearly from 0 to 80 rad/s and remains steady after 0.04 second in ANN controller when remains steady after 0.021 seconds in FL controller. This is because ANN uses random weights for the first time to run. Both the steady state speed is the same as that of the commanded reference speed, which validates the simulation result. In addition, it is seen that i_d current is constantly zero; i_q current is linearly changed with moment.

Simulation results are given when the motor is run under the load torque condition at rated of 5 Nm with constant speed of 120 rpm as shown in Figure 9 (a) and Figure 9 (b). Speed increases linearly from 0 to 120 rad/s and remains steady after 0.029 second in ANN controller when remains steady after 0.031 seconds in FL controller. From these figures, it can be seen that the motors reach reference speed shorter time with ANN controller, because, as explained before, network is learning gradually as it goes on training.

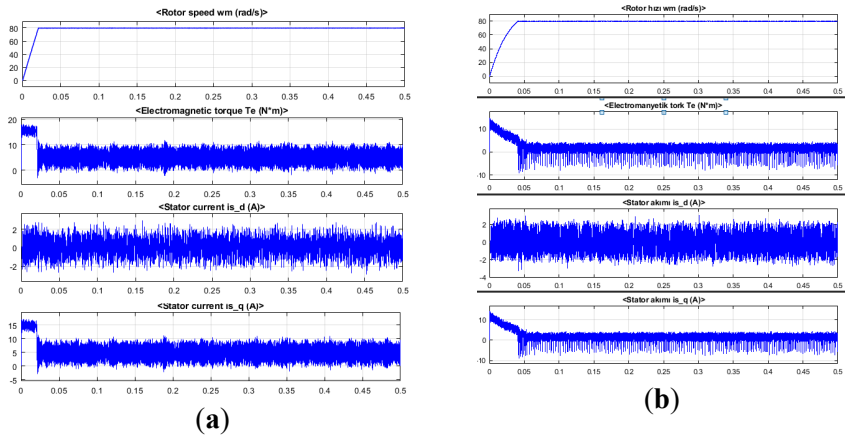


Figure 9. Simulation results for 120 rad/s reference speed and 5 N.m load condition (rotor speed, electromagnetic torque, stator current i_d and stator current i_q) for: (a) FL controller; (b) ANN controller.

Simulation results are given when the motor is run under the load torque condition at rated of 5 Nm with constant speed of 160 rpm as shown in Figure 10 (a) and Figure 10 (b).

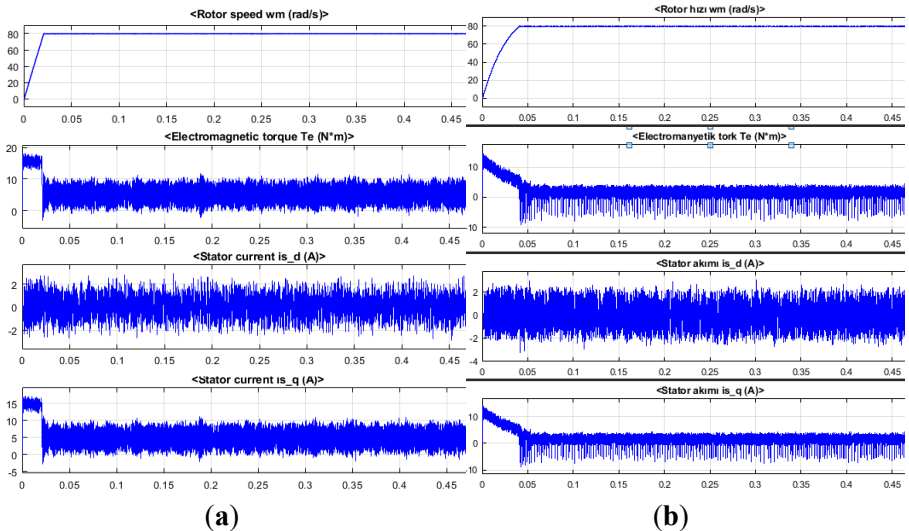


Figure 10. Simulation results for 160 rad/s reference speed and 5 N.m load condition (rotor speed, electromagnetic torque, stator current i_d and stator current i_q) for: (a) FL controller; (b) ANN controller.

5. CONCLUSION

In this paper, we present a comparison between new nonlinear and adaptive real-time recurrent ANN controller and real-time FL controller for the PMSM speed and current control. The system block is designed in Matlab/Simulink environment using d-q coordinate for different feedback speeds. Different reference speeds and the same load torque variation were tested in the simulation and results were observed for both of the control methods. The system results are given in Figure 8, 9, 10. It is concluded that using real-time recurrent ANN controller is better than FL controller. As the figures are examined, recurrent ANN controller can ensure the speed at desired values regardless of change of speed. It is noted that in order to achieve high performance in a real time recurrent controller, it is very important for the system performance to operate the network multiple times. The advantage of this study over other control algorithms is the ability to detect instantaneous changes in the system in real time with real-time learning and keep system performance at the desired level according to new situations. In addition, with this network structure developed, the problem of long training time, which is a disadvantage of ANN's control process, has been solved. Since the developed network structure is capable of learning in a short period of time, it is considered that doing the same work on the real system in future works will enhance reliability.

REFERENCES

- Abd Samat, A. A., Ishak, D., Omar, A. M., Iqbal, S., & Razak, M. A. (2016). A New Speed Sensorless Field Oriented Controller for PMSM Based on MRAS and PSO. *Journal of Electrical Systems*, 12(3), 565-+.
- Abdelnaby, G. F., Dakrory, T. A., Arafa, S. H., & Ramdan, S. G. (2015). Sensorless Field Oriented Control of Permanent Magnet Synchronous Motor. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(1).
- Asri, A., Samat, A., & Fazli, M. N. (2017). Regular paper Speed Control Design of Permanent Magnet Synchronous Motor using Takagi-Sugeno Fuzzy Logic Control. *J. Electrical Systems*, 13(4), 689-695.

- Birou, I. M., Rusu, C. C., Pavel, S. G., & Maier, V. (2014, October). Real-time robust controlled driving system with permanent-magnet synchronous motor. In 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 921-926.
- Coban, R. (2017). Backstepping sliding mode tracking controller design and experimental application to an electromechanical system. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 19(3), 88-96.
- Ebersberger, S., Seilmeier, M., & Piepenbreier, B. (2013, October). Flatness based sensorless control of PMSM using test current signal injection and compensation for differential cross-coupling inductances at standstill and low speed range. In 2013 IEEE International Symposium on Sensorless Control for Electrical Drives and Predictive Control of Electrical Drives and Power Electronics (SLED/PRECEDE), 1-7.
- Goh, S. L., & Mandic, D. P. (2004). A complex-valued RTRL algorithm for recurrent neural networks. *Neural computation*, 16(12), 2699-2713.
- Guney, E., Dursun, M., & Demir, M. (2017, January). Artificial neural network based real time speed control of a linear tubular permanent magnet direct current motor. In 2017 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD) (pp. 540-544).
- Habbi, H. M. D., & Rashed, S. T. (2016). PI and Fuzzy Speed Controllers for PM Synchronous Motor Drive. *International Journal of Computer Applications*, 149(1).
- Hasanien, H. M. (2011). FPGA implementation of adaptive ANN controller for speed regulation of permanent magnet stepper motor drives. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1252-1257.
- Jarzewowicz, L., Opalinski, A., & Cisek, M. (2015). Improving control dynamics of PMSM drive by estimating zero-delay current value. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 21(2), 20-23.
- Jayalakshmi, T., & Santhakumaran, A. (2011). Statistical normalization and back propagation for classification. *International*

- Journal of Computer Theory and Engineering, 3(1), 1793-8201.
- Karabacak, M., & Eskikurt, H. I. (2011). Speed and current regulation of a permanent magnet synchronous motor via nonlinear and adaptive backstepping control. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(9-10), 2015-2030.
- Karabacak, M., & Eskikurt, H. I. (2012). Design, modelling and simulation of a new nonlinear and full adaptive backstepping speed tracking controller for uncertain PMSM. *Applied Mathematical Modelling*, 36(11), 5199-5213.
- Kumari, K. (2015). Field oriented control of PMSM with model reference adaptive control using Fuzzy-PI controller, *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 8(1), 96-108.
- Leu, V. Q., Choi, H. H., & Jung, J. W. (2011). Fuzzy sliding mode speed controller for PM synchronous motors with a load torque observer. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(3), 1530-1539.
- Madhu, R. K., & Mathew, A. (2013). Matlab/simulink model of field oriented control of pmsm drive using space vectors. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 6(3), 1355.
- Mishra, A., Mahajan, V., Agarwal, P., & Srivastava, S. P. (2012, December). Fuzzy logic based speed and current control of vector controlled PMSM drive. In *2012 2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems* (pp. 1-6).
- Pewmaikam, C., Srisertpol, J., & Khajorntraidet, C. (2012). Adaptive fuzzy logic compensator for permanent magnet synchronous motor torque control system. *International Journal of Modeling and Optimization*, 2(2), 141.
- Plangklang, B., Kantawong, S., & Noppakant, A. (2013). Study of generator mode on permanent magnet synchronous motor (PMSM) for application on elevator energy regenerative unit (EERU). *Energy Procedia*, 34, 382-389.
- Qutubuddin, M. D., & Yadaiah, N. (2017). Modeling and implementation of brain emotional controller for Permanent Mag-

net Synchronous motor drive. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 60, 193-203.

- Rajasekhar, A., Jatoth, R. K., & Abraham, A. (2014). Design of intelligent PID/PI λ D μ speed controller for chopper fed DC motor drive using opposition based artificial bee colony algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 29, 13-32.
- Reddy, B. L., Anjaiah, U., & Rao, T. S. (2016). A Closed Loop Speed Control of PMSM Drive Using Fuzzy Logic Controller. *ImperialJournal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2(6).
- Seilmeier, M., & Piepenbreier, B. (2014). Sensorless control of PMSM for the whole speed range using two-degree-of-freedom current control and HF test current injection for low-speed range. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(8), 4394-4403.
- Shiny, J., Ragulkumar, M. and Govindarajulu, R. (2014). Adaptive fuzzy logic based speed control of permanent magnet synchronous motor using FPGA, *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 1(3), 393-398.
- Štulrajter, M., Hrabovcova, V., & Franko, M. (2007). Permanent magnets synchronous motor control theory. *Journal of electrical engineering*, 58(2), 79-84.
- Thampatty, K. S., & Raj, P. R. (2015). An Adaptive RTRL Based Neurocontroller for Damping Power System Oscillations. *International Journal of Applied*, 4(1), 1-12.
- Wibowo, W. K., & Jeong, S. K. (2013). Genetic algorithm tuned PI controller on PMSM simplified vector control. *Journal of Central South University*, 20(11), 3042-3048.
- Wilamowski, B. M. (2009). Neural network architectures and learning algorithms. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 3(4), 56-63.
- Xu, D., Zhang, S., & Liu, J. (2013). Very-low speed control of PMSM based on EKF estimation with closed loop optimized parameters. *Isa Transactions*, 52(6), 835-843.
- Younesi, A., & Tohidi, S. (2015). Design of a sensorless controller for PMSM using Krill Herd algorithm. In *The 6th Power*

Electronics, Drive Systems & Technologies Conference
(PEDSTC2015), 418-423.

1. YAZI TÜRLERİNE GÖRE YAZIM KURALLARI

Dergilere yayımlanmak üzere gönderilecek yazıların türlerine göre yazım kuralları aşağıda tanımlanmıştır. Dergiye sunulacak makaleler yazım kurallarında belirtilen esaslara, [sufbd_taslak](#) ve [sufbd_template](#)'e uygun bir şekilde hazırlanmalıdır.

1.1. ORJİNAL ARAŞTIRMA MAKALESİ

- Makaleler Türkçe veya İngilizce ve/veya Türkçe-İngilizce dillerinde yazılabilir.
- Yayınlar, Microsoft Office Word uyumlu programlarda, Times New Roman yazı karakterinde, tüm kenarlarından 2.5 cm boşluk olacak şekilde, iki yana yaslı, 1.5 satır aralıklı olarak hazırlanmalı ve sayfa numarası sayfanın ortasına gelecek şekilde ayarlanmalıdır.
- Araştırma makalelerinde; metin, kaynaklar, şekiller ve tablolar dahil 15 sayfadan daha uzun olmamalıdır. Şekiller ve tablolar metnin sonunda verilmelidir.
- Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, Yazar isim ve adresleri, Özet ve Anahtar Kelimeler, İngilizce Başlık (titel), özet (abstract), Anahtar Kelimeler (Keywords), Giriş, Materyal ve Yöntem, Sonuç ve Tartışma, Teşekkür (gerekirse) ve Kaynaklar olarak sıralanmalıdır.
- Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Yazar isim ve adresleri, Abstract, Keywords, Türkçe Başlık, Özet, Anahtar Kelimeler, Introduction, Material and Methods, Result and Discussion, Acknowledgments (gerekliyse) ve References sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık: Başlık eserin içeriğine uygun, olabildiğince kısa ve açık olmalıdır. Kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde, küçük harflerle, 13 punto, koyu (bold) yazılmalı ve sayfaya ortalanmalıdır.

Yazar Adları: Yazar(lar)ın adı soyadı (adlar küçük, soy adlar büyük harf), 12 punto ve normal olarak yazılmalıdır. Yazar adresleri yazar adlarının altına ve 10 punto ile numaralandırılarak yazılmalı-

dır. Yazarlara ait adresler (eğer farklı ise) ilgili yazarın isminin sonuna üst simge biçiminde rakam verilerek belirtilmelidir Sorumlu yazar, yıldız işareti (*) ile dipnot olarak ilk sayfanın sonunda e-posta adresi verilmelidir.

Özet: Çalışmanın amacını, nasıl yapıldığını, sonuçları ve sonuçlar üzerine yazar(lar)ın yaptığı değerlendirmeleri içermeli, 300 kelimeli aşmamalı ve 10 punto ile yazılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: En az 3 en fazla 6 adet olmalıdır. Özetin altına “**Anahtar kelimeler**”, Abstract’ın altına “**Keywords**” verilmelidir. “**Anahtar kelime-ler**” ve “**Keywords**” alt başlıkları sola dayalı, 10 punto, koyu yazılmalı ve kelimeler birbirinden noktalı virgül (;) ile ayrılmalıdır.(*Örneğin*, Kelime 1; kelime 2; kelime 3 gibi). Bu kısımda kısaltma olmamalıdır.

İngilizce Başlık: İngilizce başlık, ortalı, 13 punto, koyu ve kelimelerin ilk harfleri büyük olmak üzere küçük harflerle yazılmalıdır.

Abstract: Abstract, 300 kelimeyi geçmeyecek şekilde 10 punto ile İngilizce olarak yazılmalıdır.

Ana bölüm başlıkları: Büyük harf ile koyu (12 p), Birinci alt bölüm başlıkları: Küçük harf koyu (12 p), İkinci alt bölüm başlıkları: Küçük harf koyu ve italik olmalıdır (12 p).

1. Giriş: Çalışmanın önemini, amacını ve konu ile ilgili daha önce yapılmış temel araştırmaları kapsamalıdır. Literatür özeti ve çalışmanın amacı ve önemi bu kısımda verilmelidir ve 12 punto ile yazılmalıdır.

2. Materyal ve Yöntem: Araştırma materyali ve yöntemi ayrıntılı olarak bu kısımda belirtmeli ve 12 punto ile yazılmalıdır. Gerekliyse yöntemle ilgili alt başlık kullanılabilir.

Çalışmada istatistik değerlendirmeler yapılmış ise Materyal ve Yöntem bölümünün son alt başlığı aşağıdaki gibi yazılmalıdır.

İstatistiksel analiz: Verilerin değerlendirmesinde kullanılan istatistik yöntemler, paket program vb. bilgiler yazılmalıdır.

3. Bulgular ve Tartışma: Araştırma bulguları ve tartışma ve bu kısımda verilmeli Araştırmada elde edilen sonuçların önemi vurgulanarak daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmalıdır ve 12 punto ile yazılmalıdır.

4. Sonuç: Araştırmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler 12 punto ile bu kısımda verilmelidir.

Tablo ve Şekiller: Sayısal değerler “Tablo x.”; Grafik, harita, fotoğraf, resim vb., ise “Şekil x.” olarak adlandırılmalıdır. Tablo ve şekiller, yazı içine (Tablo 1) veya (Şekil 1) şeklinde yerleştirilmeli ve ilgili cümle sonunda belirtilmelidir. Tablo başlıkları ilgili tablonun üstünde, şekil açıklamaları ise ilgili şeklin altında sekme kullanmadan, ilk kelimenin ilk harfi büyük, diğer sözcüklerin tüm harfleri küçük harfle ve 11 punto olarak yazılmalıdır. Tablo içi yazılar tercihe göre 9-11 punto olabilir. Tablo ile ilgili açıklamalar yıldız işareti (*) ile tablonun altında verilmelidir. Tablo ve şekiller sayfaya ortalı yerleştirilmeli ve sayfanın en sonunda verilmelidir.

Sayısal ifadelerde: Genel görünüm bakımından ondalık ayraç olarak nokta kullanılmalı (Örnek: 25.17 °C; 4.25 kg; %12.5 vb.), okumanın kolaylaştırılması amacıyla binlik ayraç olarak zorlanmış bir boşluk (nonbroken/forcedspace) bırakılmalı, (Örnek: 15 000; 45 564 123; 45 123.25 vb.), sayıların bulunduğu çizelgelerde rakamlar ortaya yerleştirilmeli, ondalık ayraçlardan sonra gelen rakam sayıları eşit olmalı (örnek: 25.12; 45.36; % 12.10; % 45.80 vb.), ardışık iki rakam verilmesi gerektiğinde iki rakam arasına tire işareti (-) konulmalıdır (örnek; 14.2-17.3; % 12-47 vb.).

Eser içerisinde kaynak gösterme: “Yazar ve Yıl” esasına göre aşağıdaki şekilde yapılmalıdır;

Tek isimli kaynaklar; (Özbek, 1982),...İki isimli kaynaklar; (Couch ve Metz, 1977),...İkiden fazla isimli kaynaklar; (Couch ve ark., 1999),...Türkçe ve yabancı dilde yazarı belirtilmeyen kurum yayınları ve internetten alınan bilgiler; (Anonim, 2006),... - (Web1, 2003),...şeklinde verilmelidir. Ayrıca, metin içinde bir konu açıklanırken ya da bilgi verilirken, bilginin alındığı kaynak(lar) cümle arasında ya da cümle sonunda verilmek istendiğinde, kaynaktaki isim sayısına göre (Öztürk ve Selli, 2013; Göncü, 2014; Çetin ve

ark., 2015) örneğine uygun olacak şekilde kaynak gösterilmelidir. Metin içinde, ele geçmemiş bir eserdeki bir konudan, başka bir yayından yapılacak aktarmalar şu şekilde gösterilebilir; “Akın ve arkadaşlarının (1950) bildirdiğine göre, Taner (1945),.....olarak belirlemişlerdir” veya “.....tanımlanmıştır (Özkütük, 1945: Akın ve ark. 1950'den)”. Metin içinde yer alan ancak ele geçmeyip başka bir kaynaktan alıntı yapılan eserlere (Özkütük ve ark., 1950) “Kaynaklar” bölümünde yer **verilmemelidir**.

Teşekkür: Varsa ilgili kurum veya kişilere teşekkür bu bölüme yazılmalıdır.

Kaynaklar: Makalenin sonunda bulunmalı ve yararlanılan kaynaklar yazar soyadına göre alfabetik ve aynı yazar içinse kronolojik olarak sıralanmalı ve 12 punto ile yazılmalıdır. Referanslar APA formatına uygun şekilde listelenmelidir. Alt satırlar 1 cm içeriden ve tabsız olarak yapılmalı ve kaynaklar arasında boşluk bırakılmamalıdır. Kitap isimleri ile periyodik yayınlar italik yazılmalıdır.

Kaynakların yazımı aşağıdaki örneklere göre yapılmalıdır.

a) Dergi Makalesi

Yücel, D. Ö., Anlarsal, A. E., & Yücel, C. (2006). Genetic variability, correlation and path analysis of yield, and yield components in chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(3), 183-188.

b) Kitap

Tükel, T., & Hatipoğlu, R. (1997). Çayır Mera Amenajmanı. *Çukurova Üniversitesi. Ziraat. Fak. Ofset Atölyesi*, (s 152).

c) Kitap bölümü

Fıratlı, Ç. (1993) Arı yetiştirme: Hayvan Yetiştirme. M. Ertuğrul (Ed.), 239-270, *Bilgi Yayınevi*, Ankara.

d) Kongre/sempozyum/konferans kitabı

Yücel, C., Yücel, D., Ortas, I., İslam K.R. (2013). İklim Değişikliklerinin Tarım Üzerine Olası Etkileri, Alınması Düşünülen Tarımsal Önlemler. Türkiye X. Tarla Bitkileri Kongresi, 10-13 Eylül, Konya, S: 418-424

e) Online Belge

Cartwright, J. (2007) Big stars have weather too. *IOP Publishing Physics Web*: <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>, Accessed 26 June 2007.

f) Tezler

Trent, J. W. (1975) Experimental Acuterenal Failure. *Doktora Tezi (Yüksek Lisans Tezi)*, University of California.

g) Yazarı ve/ veya tarihi bilinmeyen bir kaynak

Anonim, (2004) T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Elazığ İl Md. Kayıtları.

- Makale Yazımında “Uluslararası Birim Sistemine” (SI) uyulmalıdır.

1.2. DERLEME TÜRÜ YAZILAR

Yeterli sayıda bilimsel makalenin taranıp, güncel bilgi ve teknoloji düzeyinde özetlenen, değerlendirme yapan ve bulguları karşılaştırarak yorumlayan yazılar Derleme Türü Yazılar kapsamında değerlendirilir. Orijinal araştırma yazıları için yukarıda tanımlanan yazım kuralları derleme türü yazılar için de geçerlidir ve 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır.

1.3. TEKNİK NOT

Pratikte değeri olan bir yenilik getiren ve var olan yöntemlere üstünlüğü olan bir ilerleme veya kolaylık sağlayan çalışmalar Teknik Not kapsamında değerlendirilir ve orijinal araştırma yazıları için yukarıda tanımlanan yazım kuralları Teknik Not türü yazılar için de geçerlidir ve 3 sayfadan daha uzun olmamalıdır.

1.4. EDİTÖRE MEKTUP

Dergide yazılmış araştırma makalesi için editöre yazılan ek bilimsel katkı, yorum ve eleştiri getiren çalışmalar Editöre Mektup kapsamında değerlendirilir. Orijinal araştırma yazıları için yukarıda tanımlanan yazım kuralları editöre mektup türü yazılar için de geçerlidir ve 3 sayfadan daha uzun olmamalıdır.