

Aralık'12 December'12

Sayı/Number: 4 Cilt/Volume: 2
Yıl/Year: 2012
ISSN: 1309-5501

Yayın Sahibi

TMMOB Elektrik Mühendisleri
Odası adına
Cengiz GÖLTAŞ

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Mehmet BOZKIRLIOĞLU

Yayın İdare Merkezi

İhlamur Sokak No: 10 Kat: 4
Kızılay/Ankara
Tel: (0312) 425 32 72
Faks: (0312) 417 38 18
<http://bilimseldergi.emo.org.tr>
bilimseldergi@emo.org.tr
EMO üyelerine parasız dağıtılır

Teknik Editör

E. Orhan ÖRÜCÜ

Teknik Sekreteryası

Emre METİN
Oylum YILDIR

Yayın Türü

Yerel süreli yayın
6 ayda bir yayınlanır

Basım Adedi

5000

Basım Tarihi

Aralık 2012

Sayfa Düzeni

PLAR

Planlama Yayıncılık Reklamcılık
Turizm İnşaat Tic. Ltd. Şti.
Yüksel Cad. No: 35/12 Yenışehir-Ankara
Tel: (0.312) 432 01 83-93
Faks: (0.312) 432 54 22
e-posta: plar1td@gmail.com

Baskı Yeri

Matttek Matbaacılık
Basım Yayın Tanıtım Tic. San. Ltd. Şti.
Adakale Sokak No: 32/27 Kızılay/Ankara
Tel: (0312) 433 23 10 • Faks: (0312) 434 03 56

EMO BİLİMSEL DERGİ

Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal
Mühendisliği Bilimsel Dergisi

The Journal of Electrical, Electronics, Computer and
Biomedical Engineering

YAYIN KURULU

BAŞ EDITÖR/EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. A. Hamit SERBEST
Çukurova Üniversitesi

EDİTÖRLER/EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Bahri ERCAN
Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Murat EYÜBOĞLU
Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. H. Altay GÜVENİR
Bilkent Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan KUNTMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi



TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası

UCTEA/Chamber of Electrical Engineers

EMO BİLİMSEL DERGİ

Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal
Mühendisliği Bilimsel Dergisi

The Journal of Electrical, Electronics, Computer
and Biomedical Engineering

YAYIN KURULU

BAŞ EDİTÖR/EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. A. Hamit SERBEST
Çukurova Üniversitesi

EDİTÖRLER/EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Bahri ERCAN
Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Murat EYÜBOĞLU
Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. H. Altay GÜVENİR
Bilkent Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan KUNTMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

Prof.Dr. Metin AKAY	Arizona State University	Prof.Dr. Oya KALIPSIZ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof.Dr. Mehmet AKŞİT	Twente University	Prof.Dr. İrfan KARAGÖZ	Gazi Üniversitesi
Müjdat ALTAY	Netaş	Prof.Dr. Aydın KÖKSAL	Bilişim AŞ
Prof.Dr. Ayhan ALTINTAŞ	Bilkent Üniversitesi	Fikret KÜÇÜKDEVECİ	Tepa AŞ
Prof.Dr. Volkan ATALAY	ODTÜ	Prof.Dr. Duran LEBLEBİCİ	
Serdar BOZKURT	SIEMENS	Prof.Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU	ODTÜ
Prof.Dr. Alinur BÜYÜKAKSOY	GYTE	Turgay MALERİ	Gate Elektronik
Prof.Dr. Işık ÇADIRCI	Hacettepe Üniversitesi	Dr. Ahmet MEREV	Tübitak UME
Doç.Dr. Hakan ÇAĞLAR	Anel	Prof.Dr. Banu ONARAL	Drexel Üniversitesi
Dr. Semih ÇETİN	Cybersoft	Prof.Dr. Sermin ONAYGİL	İTÜ
Prof.Dr. İnci ÇİLESİZ	İTÜ	Prof.Dr. M. Bülent ÖRENCİK	Tübitak MAM Bilişim Enstitüsü
Bülent DAMAR	Pelka	Prof.Dr. Aydoğan ÖZDEMİR	İTÜ
Prof.Dr. Oğuz DİKENELLİ	Ege Üniversitesi	Prof.Dr. Erdal PANAYIRCI	Kadir Has Üniversitesi
Doç.Dr. Ali Hikmet DOĞRU	ODTÜ	Prof.Dr. Bülent SANKUR	Boğaziçi Üniversitesi
Dr. Hakan ERDOĞMUŞ	IEEE	Tarkan TEKCAN	Vestel
Prof.Dr. Muammer ERMİŞ	ODTÜ	Dr. Erkan TEKMAN	Tübitak UEKAE
Prof.Dr. Osman EROĞUL	GATA	Prof.Dr. Belgin TÜRKAY	İTÜ
Prof.Dr. H. Bülent ERTAN	ODTÜ	Ahmet Tark UZUNKAYA	Entes AŞ
Doç.Dr. H. Özcan GÜLÇÜR	Boğaziçi Üniversitesi	Prof.Dr. Yekta ÜLGEN	Boğaziçi
Prof.Dr. Yusuf Ziya İDER	Bilkent Üniversitesi	Davut YURTTAŞ	Inform AŞ
Prof.Dr. Yorgo İSTEFANAPULOS	İşık Üniversitesi		

İÇERİK/CONTENTS

Önsöz

Prof. Dr. A. Hamit Serbest

Sürekli Dalga NIR-IR Dalgaboylarının Karaciğerde Oluşturduğu Isıl Etkilerin in vitro Ortamda Araştırılması 63

Investigation of Photothermal Effects of CQ NIR-IR Lasers on Liver Tissue in vitro

Fikret Yıldız, Ayşe Sena Sarp, Çağlar Gök, Murat Gülsoy, İnci Çilesiz

Ortalama Kayan Kip Metodu ile Denetlenen İki Fazlı Sarmaşık Yapılı Yükseltici Tip Dönüştürücünün Performans Analizi 69

Performance Analysis of Two Phase Interleaved Converter Controlled by Average Sliding Mode Control

Fatih Karık

Yenilenebilir Dağıtık Üretim Koşullarının Güç Sistemlerinin Yük Akışına Etkilerinin Analizi 77

A Load Flow Analysis for Impacts of Renewable Distributed Generation Conditions on Power Systems

Asım Kaygusuz, Ozan Gül, Barış Baykant Alagöz

Elektrikli Arabalarda Kullanılan Li-ion Akülerin Tek Fazdan Hızlı ve Verimli Şarjı için Güç Faktörü Düzeltmeli Yükseltiler Karşılaştırması 87

Comparison of Single Phase Power Factor Correction Boost Converters for Fast and Efficient Charge of Li-ion Batteries Used in Electrical Cars

Burak Akın

Türkçe Metinlerin Sınıflandırılmasında Metin Temsil Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması 95

A Comparison of Text Representation Methods for Turkish Text Classification

M. Fatih Amasyalı, Sümevra Balcı, Esra Nur Varlı, Emrah Mete

Tek Robottan Çoklu Robotlara Ortam Haritalama 105

Map Building: From Single Robot to Multirobot Systems

Hakan Karaoğuz, Özgür Erkent, Haluk Bayram, H. Işıl Bozma



ÖNSÖZ

Değerli Meslektaşlarım,

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası'nın yasal sahibi olduğu “**EMO Bilimsel Dergi**” ikinci yaşını tamamladı. Daha henüz çok genç bir dergi, iki yılın bilimsel bir dergi için çok kısa olduğunun farkındayız. Ancak, derginin yayın süreçlerine sağlanan destek, yayınlara gösterilen ilgi ile geleceğe güvenle bakıyoruz.

Dergi veri tabanına 321 meslektaşımız hakem olarak kayıt olmuş durumda. Yayınlanmak üzere gönderilen 80 makalede 115 meslektaşımız ortak yazar olarak yer aldı. Makalelerin incelenmesinde 88 farklı hakem görev yaptı ve bunlardan 29'u birden fazla kere hakemlik yaptı. Dolayısıyla, derginin bilimsel/teknolojik araştırma yayın süreçlerine yaklaşık 500 meslektaşımız doğrudan destek sağlamıştır.

Bu dört sayıda yayınlanan 28 makalenin 25'i akademik ve/veya teknolojik bilimsel makale türünde olup 3'ü temel derleme makaledir. Bunların disiplinlere göre dağılımı ise; %54 elektrik mühendisliği, %14 elektronik mühendisliği, %7 biyomedikal mühendisliği ve %25 bilgisayar mühendisliği şeklinde gerçekleşmiştir. EMO Bilimsel Dergi'ye başvurusu yapılmış, değerlendirme süreci devam eden makale sayısı ile 6'dır.

Derginin her sayısı 5.000 adet basılmış ve 2760'ı Türkiye'deki üniversitelerin ilgili fakülteleri, bölüm başkanlıkları, öğretim elemanları olmak üzere teknokent şirketlerine, Ar-Ge merkezlerine, Bakanlık ve TÜBİTAK destekleri ile Ar-Ge yapan şirketlere gönderilmiştir. Bilindiği gibi, dergiye web üzerinden de erişim sağlanmaktadır. Ayrıca, dergi için yeni bir web sitesi tasarlanarak daha kullanışlı hale getirildi. Yeni sitenin, yayına girdiği 3 Ocak 2013 tarihinden bugüne (6 Şubat 2013) kadar 1009 farklı IP adresinden ziyaret edildi.

ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Kemal Leblebicioğlu “Savunma Teknolojileri” konusunda Konuk Editör olarak 2013 yılında yayımlanmak üzere bir özel sayı hazırlamaktadır. İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ve ELECO 2012 Düzenleme Kurulu Başkanı Sayın Prof. Dr. Özcan Kalenderli de Konuk Editör olarak ELECO 2012 Özel Sayısı çalışmalarını yürütmektedir.

Meslektaşlarımızın güvenini sarsmadan ve desteklerini alarak derginin saygınlığını yükseltmek temel hedefimizdir. Öncelikli adım, yurt içinde üniversitelerimizin akademik atama ve yükseltme ölçütlerinde dikkate alınan bir dergi olmak. Bir sonraki adım ise çok sayıda bilimsel atıf alan ve uluslararası endekslerce taranan dergiler arasına girebilmek.

Dünya çapında etki değeri (impact factor) yüksek bilimsel dergileri kapsayan çok disiplinli atıf indekslerinden oluşan ISI kapsamında tüm bilim alanlarında Türkiye'den taranan dergi sayısı 2012 yılı itibarıyla 74'tür. Bunlar arasında tüm mühendislik disiplinlerindeki dergi sayısı dört, EMO Bilimsel Dergi'nin disiplinleri olan elektrik, elektronik, bilgisayar ve biyomedikal alanlarında Thomson Reuters ISI kapsamında olan dergi sayısıysa sadece 1'dir. Bu yayın azlığı ve yayın dillerinin Türkçe olmaması sebebiyle özellikle sanayide yapılan çalışmalar ile Türkçe yapılmış bilimsel çalışmalar hem ulusal hem de uluslararası akademik dünyaya etkin bir biçimde aktarılamamaktadır. EMO Bilimsel Dergi'yi uluslararası bilimsel standartlara ve uluslararası veri tabanlarına uygun olarak hazırlayarak bu etkinliği artırmak amaçlanmaktadır.

En az ulusal düzeyde bilimsel/teknolojik özgünlük içeren araştırmaları Türkçe yayımlayarak akademik çalışmalarını sanayiye ve sanayide yapılan çalışmalarını da akademik ortama taşıma hedefinden sapmadan EMO Bilimsel Dergi sürdürülebilir kılınmalı. Bu amaçla katkı yapacak meslektaşlarımızın sayısının hızla artacağına inanıyoruz.

Saygılarımızla,

Prof. Dr. A. Hamit SERBEST
Yayın Kurulu Adına



Sürekli Dalga NIR-IR Dalgaboylarının Karaciğerde Oluşturduğu Isıl Etkilerin in vitro Ortamda Araştırılması

Investigation of Photothermal Effects of CW NIR-IR Lasers on Liver Tissue in vitro

Fikret YILDIZ^{1,2}, Ayşe Sena SARP³, Çağlar GÖK³, Murat GÜLSOY³, İnci ÇİLESİZ¹

¹Elektronik Haberleşme Mühendisliği
İstanbul Teknik Üniversitesi
yildizfi@itu.edu.tr, cilesiz@itu.edu.tr

²Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Hakkari Üniversitesi
fikreyildiz@hakkari.edu.tr

³Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsü, Biyofotonik Laboratuvarı
Boğaziçi Üniversitesi
aysesena.sarp@gmail.com, mcagok@gmail.com, murat.gulsoy@gmail.com.

Özet

Bu çalışmada, NIR-IR (1070 nm, 980 nm ve 1940 nm) dalgaboylu üç farklı laser, karaciğer dokusuna 1 cm mesafeden uygulanarak, oluşan ısılsıl zararın (koagülasyon, ısı yanık ve ablasyon) zamansal ve boyutsal (çap ve derinlik) tespiti yapılmıştır. Ölçülen değerler, istatistiksel fark ($p < 0,05$) göz önüne alınarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Dokuda oluşan koagülasyon çap ve derinliği önce makroskopik olarak (kalipiyer ile) daha sonra da histolojik olarak (H&E boyaması ile) ölçülerek karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, 1940 nm dalgaboyu, doku tarafından soğurulması daha fazla olduğu için en hızlı etkileşime girip doku hasarı oluşturan dalgaboyu olmuştur. Birim zamanda en büyük doku hasarı yine bu dalgaboyunda oluşmuştur. 980 nm dalgaboyu laser demet çapı ve uygulama süresinin daha büyük olması nedeniyle hacimsel hasar bu dalgaboyunda en yüksek değerlerdedir.

Anahtar kelimeler: 1070 nm, 980 nm, 1940 nm, karaciğer dokusu, (H&E) boyaması

Abstract

In this experimental study, three different laser sources in the NIR-IR region, 980 nm, 1070 nm, and 1940 nm were applied from 1 cm distance on liver tissue. Photothermal damage (coagulation, carbonization and ablation) was assessed as a function of exposure time, and damage dimensions (diameter and depth) were measured. Results were statistically ($p < 0.005$) analyzed and histological evaluations were

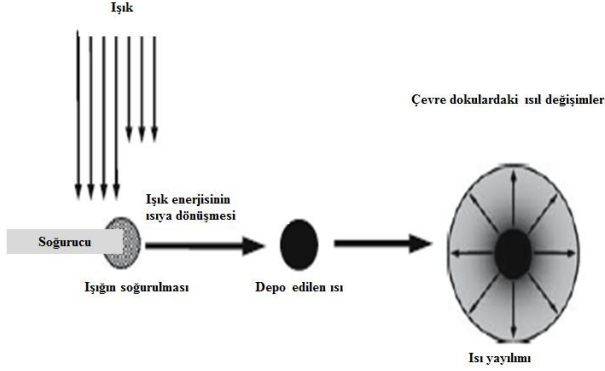
performed using H&E staining. Measurements and histology were compared and contrasted. Our observations showed that 1940 nm interacts with liver tissue quickest due to relatively higher absorption coefficient at this wavelength. Largest tissue damage occurred at 1940 nm. Damage volumes were highest at 980 nm than at 1070 nm.

Keywords: 1070 nm, 980nm, 1940 nm, liver tissue, (H&E) staining

1. Giriş

Laser kaynaklı ısılsıl tedavi, lokal tümör tedavisinde kullanılan ve araştırılmaya devam edilen bir yöntemdir. Araştırmaların yoğunlaştığı alanlardan biri de karaciğer dokusudur. Karaciğer, batılı ülkelerde akciğer ve meme kanserinden sonra üçüncü en önemli ölüm sebebi olan kolorektal kanserlerin toplandığı önemli merkezlerdendir [1]. Karaciğer tümör tedavisinde birinci tedavi önceliği ameliyattır. Ancak hastaların sadece %10-20'si cerrahi operasyona uygundur. Bu nedenle çeşitli alternatif yöntemler araştırılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de laserin dokudaki ısıl etkisinden yararlanmaktır [2].

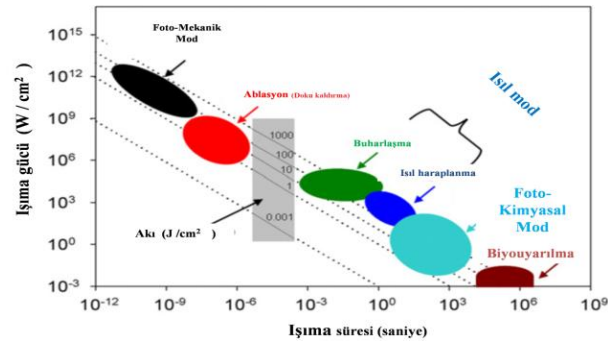
Laser-doku etkileşimi hem doku parametrelerine (soğurma katsayısı, saçılma katsayısı, anizotropi faktörü, ısıl iletkenlik, ısıl kapasite ve mekanik dayanıklılık) hem de laser parametrelerine (dalgaboyu, uygulama süresi, uygulama enerjisi, sürekli yada darbe modunda kullanımı, laserin enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu) bağlıdır [3]. Dokuya uygulanan laser enerjisinin doku tarafından soğurulan kısmı ısıya dönüştürülür ve doku hasarı oluşur [4](Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Laser enerjisinin ısıya dönüşümü ve doku hasarı oluşumu [4]

Uygulama süresine bağlı olarak dokuda sırasıyla hipertermi, koagülasyon (ısıl haraplama), ablyasyon (doku kaldırılması), karbonizasyon (yanık) ve doku parçalanması oluşur. Koagülasyon 55 ile 95 °C arasında doku proteinlerinin geridönüşümü olmayan hasara uğraması olarak tanımlanır. 100 °C civarında buharlaşma ve ablyasyon başlarken 150 °C'den sonra karbonizasyon başlar. Laser tedavisinde tedaviye bağlı olarak çeşitli dalgalı boyunda laserler koagülasyon, karbonizasyon ve ablyasyon için kullanılabilir. Yakın kızılaltı (NIR) ve kızılaltı (IR) dalgalı boyulu laserlerle doku kesimi ve ablyasyonu için uygundur ve baskın olan doku soğurganı su molekülüdür. Laserin doku tarafından soğurulma derecesi dokuda oluşan hasarın derecesini belirler. Laserin dokuda daha az soğurulması laser enerjisinin daha derinlere inebileceği anlamına gelir. Dokunun yüksek soğurma katsayısı da dokunun daha kolay ablyasyona uğramasına sebep olur [5-8].

Literatürde, laser-doku etkileşim mekanizmaları sadece laser parametreleri açısından incelendiğinde bu etkileşimler sonucu oluşan mekanizmaların sınıflandırılması enerji yoğunluğu (J/cm^2), güç yoğunluğu ($Watt/cm^2$) ve uygulama süresine (saniye) göre yapılmaktadır (Şekil 1.2).



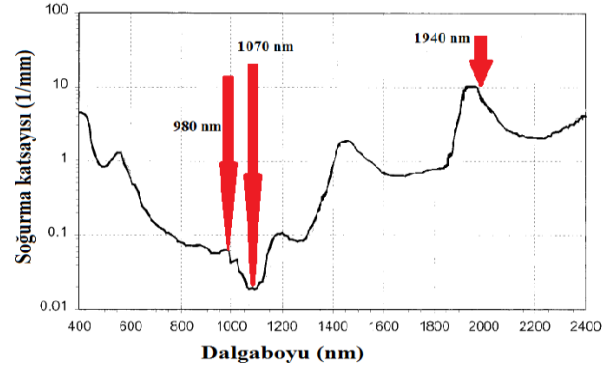
Şekil 1.2: Laser doku etkileşim mekanizmaları [9].

Etkileşim mekanizmalarının oluşması için gerekli enerji yoğunluğu $1-1000 J/cm^2$ arasında değişirken güç yoğunluğu $10^{-3} - 10^{15} W/cm^2$ arasında değişmektedir. Güç yoğunluğu ve uygulama süresi arasındaki ilişkiden yararlanarak bütün etkileşim mekanizmaları için gerekli enerji yoğunluğunun neredeyse aynı aralıkta olduğu sonucu çıkarılabilir. Sonuç olarak laser-doku etkileşim mekanizmalarının oluşması birincil dereceden laser uygulama süresine bağlıdır.

Laserin dalgalı boyu, dokuda oluşan saçılma ve soğurulmayı belirler (Şekil 1.3). Enerji yoğunluğu da oluşan ısıl hasarın boyutunu belirlemede önemli bir parametredir [10].

Laser dokuya düz (bare) ve saçıcı (diffusing) fiber optik kullanılarak uygulanabilir ve istenilen uygulamaya göre bu iki fiberden biri seçilebilir [11]. Çapı 200-600 μm arasında değişen düz fiberin avantajı kolaylıkla dokuya uygulama imkanı vermesi ve küçük çapta ısıl hasar için uygun olmasıdır [12].

Laser-doku etkileşiminde temel amaç, tedaviye ek olarak tedavi sırasında hedef bölgenin çevresindeki sağlıklı dokuların da korunmasıdır. Bunun için çeşitli dalgalı boyulu araştırılmaktadır ve hücre ölümünün başladığı koagülasyon için sıcaklık değerleri ve uygulama sürelerinin eşik değerleri belirlenmesi önemlidir [5,13]. Bununla beraber karbonizasyon ve ablyasyon uygulamaları için de ablyasyon ve karbonizasyon başlama sürelerinin belirlenmesi de sağlıklı dokuların minimum hasarı için önemlidir.



Şekil 1.3: Karaciğer dokusunun soğurma katsayısının üç farklı dalgalı boyuna göre değişimi [14]

Bu çalışmada, *in vitro* ortamda karaciğer dokusunda 1070 nm, 980nm ve 1940 nm dalgalı boyularının koagülasyon, karbonizasyon başlama süreleri ölçülmüştür ve ablyasyon etkinliği gözlenmiştir. Bu uygulama sürelerinde oluşan ısıl hasarın boyutu makroskopik ve histolojik olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca çevre dokuların uygulama süresi boyunca en az zarar görmesi için önemli bir parametre olan güvenli zaman aralığı (koagülasyon ile karbonizasyon arasındaki süre) tanımlanmıştır.

2. Materyal/Yöntem

Mahalle kasabından taze olarak alınan dana karaciğeri standart olarak $4 mm \pm 1 mm$ kalınlıkta ve $6 cm \pm 0,5 cm$ çapında kesilmiştir. 1070 ve 980 nm dalgalı boyuları 4-10W, 1940 nm dalgalı boyu da 1-3 W güç aralığında karaciğer dokusuna 1 cm mesafeden koagülasyon ve karbonizasyon oluşana kadar 600 μm çaplı düz (bare) fiberle uygulanmıştır. Laserin dokuda oluşturduğu hasar, laserin güç yoğunluğuyla doğru orantılı olduğundan değerlendirmeler güç yoğunluğuna göre yapılmıştır. Güç yoğunluğu (ϕ , $Watt/mm^2$) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. P doku üzerine uygulanan güç değerini, A ise laser demet alanını göstermektedir.

$$E = \frac{P}{A} \quad (1)$$

1070 nm dalgaboylu laser kaynağı için laser demet çapı 1,2 mm, 980 nm diyot laser için 2,4 mm ve 1940 nm Tm – fiber laser için 1,9 mm olarak ölçülmüştür. Doku üzerinde laser demet çapları ölçüldüğü için, optik fiberin sayısal açıklık değeri ayrıca ölçülmemiştir. Buna göre dokuya uygulama 1070 nm’de 3,5-8,8 W/mm², 980 nm’de 0,8-2,2 W/mm² ve 1940 nm dalgaboyunda 0,35-1,05 W/mm² güç yoğunluğu aralığında yapılmıştır.

2.1 Histolojik ve makroskopik değerlendirme

Laser uygulanması kesildikten sonra doku örnekleri laserin uygulama yönüne paralel olarak kesilerek ekstenel ve radyal doku hasarı belirlenmiştir. Bu çalışmada histolojik değerlendirmeler için Hematoksilin-Eosin (H&E) boyaması kullanılmıştır. Doku takibine başlamadan önce, karaciğer doku örnekleri %10’luk nötral formalin çözeltisinde 48 saat süreyle bekletilerek dokunun mevcut durumunu koruması sağlanmıştır. Dokular formalin çözeltisinden çıkarıldıktan sonra, kasetlere yerleştirilmiş ve dehidrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Dehidrasyon işlemi, 12 adımdan oluşmaktadır ve Leica TP1020 Vakumlu Doku Takip Cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Doku takibi yapılan doku örneklerinin daha sonraki safhada parafine gömülebilmesi için, doku takibinden alınan kasetler gömme cihazının 60 °C sıcaklıkta olan bölümlerinde bekletilmiştir. Kasetlerdeki dokuları metal kaplara gömmek için ayrı ayrı çıkartılarak gömme işlemine hazırlanmıştır. Parafine gömülmüş dokulardan kesit alma işlemi, 5-10 µm kalınlığında kesit alabilen otomatik mikrotom ile yapılmıştır (Leica RM2255, Germany) ve histolojik görüntüler mikroskop altında incelenmiştir. Makroskopik ölçümler de kalipiyer ile yapılmıştır.

Ölçümler arasındaki varyans değerlerini karşılaştırmak için ANOVA (Analysis of variance) testi uygulanmıştır ve fark seviyesi p<0,05 kabul edilmiştir. Farklı uygulama güçleri arasında karşılaştırma yapmak için 980 nm ve 1070 nm için fark seviyesi p < 0,007, 1940 nm için de fark seviyesi p<0,01 olarak kabul edilmiştir. Varyansları eşit olan gruplar için Tukey testi, varyansları eşit olmayan gruplar için Tamhane’s 2 testi kullanılmıştır.

3. Sonuç

Ölçümlerde koagülasyona başlama süresi (t₁, sn) ve bu sürede dokuda oluşan koagülasyon çapı (φ, mm) ölçülmüştür. Karbonizasyonu gözlemlemek için laser doku yüzeyine karbonizasyon oluşuncaya kadar uygulanmıştır. Bu karbonizasyon süresi (t₂, sn) kaydedilmiştir ve bu sürede oluşan koagülasyon derinliği ölçülmüştür.

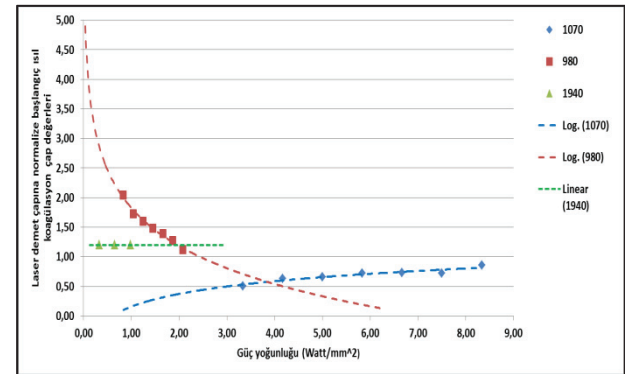
Laserin karaciğer dokusuna önce koagülasyon başlama süresine kadar sonra da karbonizasyon başlayana kadar uygulanmasıyla elde edilen ölçümleri kullanarak üç farklı dalgaboyunun farklı uygulama güçleri için güvenli süre aralığı (t₃ = t₂ - t₁, sn) belirlenmiştir. Histolojik ölçümlerde de koagülasyon ve karbonizasyon başlama süresinde dokuda oluşan ısıl hasarlar gözlenmiştir. Ölçüm sonuçlarının gösterildiği grafiklerde, koagülasyon çap değerleri, oluşan ısıl hasarın (koagülasyon) laser demet çapından bağımsız karşılaştırılmasını yapabilmek için laser demet çapına normalize edilmiştir. Koagülasyon derinliği de laserin dokudaki optik girginliğe normalize edilerek grafikler çizilmiştir. Optik girginlik laserin başlangıç enerji değerinin

%37’ye düştüğü derinlik olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi formülize edilir [15-17].

$$Z_{optik} = \frac{1}{\mu_t} \quad (2)$$

μ_t dokunun toplam zayıflatma katsayısını göstermektedir. Optik girginlik 980 nm için 1,9 mm, 1070 nm için 4,7 mm ve 1940 nm için de 0,0625 mm olarak kabul edilmiştir [14,18]. 980 nm laser dalgaboyunun soğurulması 1940 nm dalgaboyuna göre daha düşük olduğundan ve dokudaki saçılması büyük olduğundan oluşan normalize koagülasyon çapı değerleri de daha büyüktür ve güç yoğunluğunun artışıyla azalmaktadır (p<0,007). 1070 nm dalgaboyunda güç yoğunluğunun artması koagülasyon çapını da arttırmaktadır (Şekil 3.1).

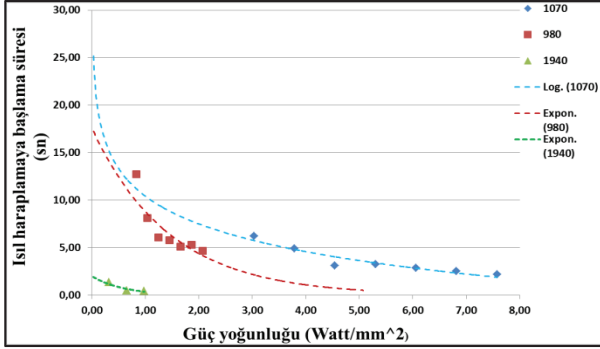
1070 nm dalgaboyunda 3 ve 3,7 W/mm² güç yoğunluklarının, ayrıca yine aynı dalgaboyunda 4,5, 5,3, 6, 6,8 ve 7,5 W/mm² güç yoğunluklarının oluşturduğu koagülasyon çaplarının kendi aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır (p>0,007). 1940 nm dalgaboyunda, üç farklı laser uygulama değerinin (0,3; 0,6 ve 0,9 W/mm²) oluşturduğu koagülasyon çapı, güç yoğunluğu artışıyla doğrusal olarak değişmesine rağmen, bu değişim istatistiksel olarak bir anlamlı değildir. 1940 nm için oluşan koagülasyon çapı uygulanan güç değişkeninden bağımsızdır (p>0,01). 980 nm dalgaboyunun koagülasyon çapı değeri, güç yoğunluğu artışıyla beraber **azalarak** laser demet çapına yaklaşıncak 1070 nm dalgaboyun da güç yoğunluğundaki artışla beraber koagülasyon çapı da **artıs** eğilimi göstererek laser demet çapına yaklaşmaktadır. Üç dalgaboyunun genel bir güç yoğunluğu-ısıl hasar karakteristiği belirlemek için, ölçüm aldığımız güç yoğunluğu aralığındaki değerleri kullanarak her dalgaboyu için eğri uydurması (kestirimi) yapılmıştır. (Nokta değerler ölçülen değerleri, kesik çizgiler de ölçüm sonuçlarıyla en uygun eğrileri göstermektedir)



Şekil 3.1: Güç yoğunluğuna göre ısıl haraplama (koagülasyon) çapı değişimi

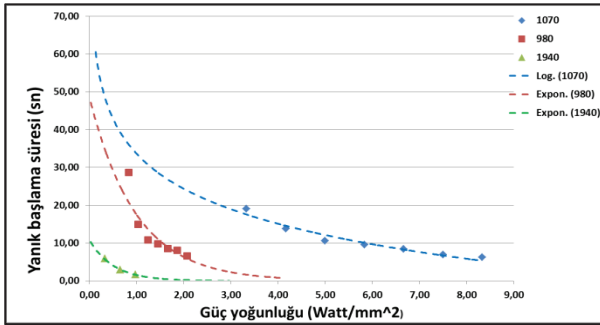
Üç farklı dalgaboyundaki laser kaynaklarının ısıl haraplama başlama sürelerini karşılaştıracak olursak, güç yoğunluğu artışı ile üç dalgaboyu için de ısıl haraplama başlama zamanı azalmaktadır. Koagülasyona (ısıl haraplama) başlama süresi, 980 nm de 1,4 W/mm²’den sonra güç yoğunluğundan bağımsızdır. 1070 nm için 4,5, 5,3 ve 6 W/mm² güç yoğunlukları ve 1940 nm’de 0,6 ve 0,9 W/mm² güç yoğunluklarının koagülasyona başlama süreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Çalışılan güç yoğunluklarında 980 nm’nin ısıl haraplama (koagülasyon) başlama süresi 1070 nm dalgaboyununun daha büyüktür (Şekil 3.2). Bunun sebebi, 980 nm dalgaboyunun güç

yoğunluğunun 1070 nm dalgaboyunun güç yoğunluğundan daha düşük olması ve saçılmasının daha büyük olmasıdır. 980 nm dalgaboyu, koagülasyon eşik değerinin aşılması için daha uzun süre dokuya uygulanmıştır.

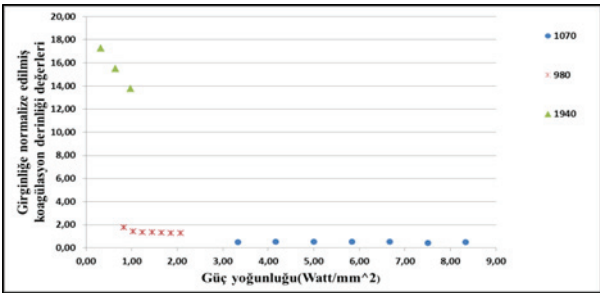


Şekil 3.2: Güç yoğunluğuna göre ısı haraplama başlama süresi

Karbonizasyona (yanık) başlama süresinde de üç dalgaboyu için zamanla azalan bir değişim vardır. Dokuda koagülasyon sonucu oluşan haraplama çapı arttığında iletkenlik azalır ve doku soğurduğu ısıyı dağıtamaz ve yanık oluşur. 980 nm için 0,8-2 W/mm², 1070 nm için 6, 6,8 ve 7,5 W/mm² güç yoğunluğu aralığı için karbonizasyona başlama süreleri arasında anlamlı bir istatistiksel fark yoktur ($p>0,007$). 1070 nm dalgaboyunda güç artışıyla karbonizasyon başlatma süresi arasındaki ilişkiyi gösteren eğri daha yavaş bir düşüş gösterirken, 980 nm için bu düşüş daha keskindir. 1440 nm dalgaboyunda 0,6- 0,9 W/mm² için karbonizasyon oluşturma süreleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (Şekil 3.3). Bu sürede (t_2 , sn) oluşan normalize koagülasyon derinliği değerleri Şekil 3.4'tedir.



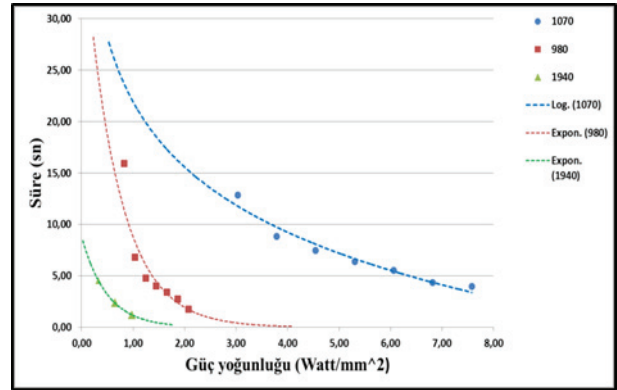
Şekil 3.3: Farklı güç yoğunluklarında üç farklı dalgaboyuna sahip laserlerin dokuda yanık olayını başlatmaları için geçen süre



Şekil 3.4: Optik girginliğe normalize koagülasyon değerleri

Üç dalgaboyu için de güç yoğunluğu artışıyla oluşan normalize koagülasyon derinliği arasında yaklaşık doğrusal bir değişim izlenmişse de bu değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Özellikle 1440 nm ışın dalgaboyunda sınırlı sayıda veri elde edilebildiği için önemli bir değişim görülmemiştir. 980 nm ve 1070 nm dalgaboylarının uygulama süresi ve güç yoğunlukları farklı olmasına rağmen oluşan koagülasyon derinlikleri arasında anlamlı bir fark yoktur.

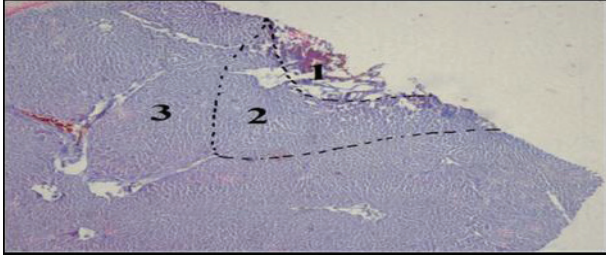
Laser uygulanması sırasında dokunun ölmeye başladığı sınır değerlerinin belirlenmesi çevre dokuların daha az zarar görmesi açısından önemlidir. Bu nedenle güvenli süre aralığı olarak tanımladığımız sürede laser dokuya güvenli bir şekilde uygulanabilir. 980 nm dalgaboyunda 1,4 W/mm² 'den sonraki güç yoğunlukları için güvenli süre aralığı arasında anlamlı bir değişim yoktur. 980 nm'de güvenli süre aralığının zamanla değişimi daha hızlıdır. 1070 nm dalgaboyunda da 4,5W/mm² 'den sonra güç yoğunluğu artsa da güvenli süre aralığı için değişim istatistiksel olarak anlamsızdır. 1440 nm'de ise üç farklı güç yoğunluklarında güvenli süre aralığı farklıdır ve zamanla azalmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Güç yoğunluğu ile güvenli süre arasındaki ilişki

Düşük güç yoğunluğuna rağmen (0,3, 0,6, 0,9 W/mm²) 1440 nm dalgaboyu karbonizasyon için en tehlikeli dalgaboyudur. Suyun soğurma katsayısı bu dalgaboyu civarında diğer iki dalgaboyuna göre daha fazla olduğu için soğurulan laser enerjisinin hızlı bir şekilde ısıya dönüştürülüp derinlere ilerleyemeden hasar oluşturduğunu gözlemledik.

Laser dokuda eksenel olarak ilerlediğinden ve makroskopik boyutta, oluşan eksenel hasarı direkt göremediğimiz için histolojide en çok kullanılan H&E boyaması yapılmıştır. Şekil 3.6' da 1440 nm' de 0,3 W/mm² güç yoğunluğunda dokuda oluşan ısı hasar gösterilmiştir. Histolojik görüntülerde koagülasyon, karbonizasyon ve ablasyon sınırlarının belirlenmesi doku parçalanması ve renk yoğunluğu kullanılmıştır. Koagülasyon bölgesi referans olarak aldığımız karaciğer dokusuna göre biraz daha açık renklidir ve bu bölgede doku gevşemeleri oluşmuştur. 1440 nm dalgaboyu karaciğer dokusunda hem ablasyonu hem de karbonizasyonu etkili bir şekilde oluşturduğu için en iyi sonuçları bu dalgaboyunda gözlemledik.



Şekil 3.6 : 1.Bölge; Yanık bölgesini, 2.Bölge Isıl haraplanma bölgesini , 3.Karaciğer dokusunu göstermektedir.

4. Tartışma

Karaciğer dokusunda, radyal doku hasarı oluşturmak için 980 nm'de 1 W/mm² (sistemimizde 5 W), 1070 nm'de ise 4,5 W/mm² güç yoğunluğu (sistemimizde 6 W) değerleri en yüksek uygulama değerleri olarak kabul edilebilir. Bu güç yoğunluklarından daha yüksek güç yoğunluğu dokuda anlamlı bir koagülasyon çapı değişimi oluşturmaz ve sadece çevre dokuların daha fazla haraplanmasına sebep olur. 1940 nm dalgaboyunda da 0,3 W/mm² (sistemimizde 1 W) koagülasyon çapı için en uygun değeridir. 1070 nm dalgaboyu doku tarafından daha az soğurulduğu için en güvenli dalgaboyudur. 1070 nm'de güç yoğunluğu artışıyla bu güvenli süre aralığı plato oluşturma eğilimindedir. 980 nm dalgaboyunun laser demet çapından dolayı dokunun birim alanındaki enerji yoğunluğu daha azdır ve 1940 nm dalgaboyuna göre daha güvenlidir. 980 ve 1940 nm dalgaboylarının güvenli süre aralıkları güç yoğunluğuyla üstel bir değişim gösterir. 1940 nm dokuyla hızlı bir etkileşime girmesinden dolayı uygulamalarda el ile kontrol yerine bilgisayar kontrollü yapmak çevre dokuların korunması için uygun olabilir. Ablasyon için en uygun dalgaboyu 1940 nm'dir ve üç farklı güç yoğunluğunda da ablasyon oluşmuştur. 1940 nm'de ablasyonla beraber hemen karbonizasyon oluştuğundan, karbonizasyon derinliği ablasyon derinliği olarak kabul edilebilir. 1070 nm dalgaboyunda 3-7,5 W/mm² güç yoğunluğu aralığında ablasyon oluşmazken 980 nm dalgaboyunda ise sadece 1,6 W/mm² güç yoğunluğunda ablasyon oluşmuştur.

5. Teşekkürler

Bu çalışma İTÜ-BAP 3544 I-Tipi proje desteği ile tamamlanmıştır.

Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Enstitüsü ve Biyofotonik Laboratuvarı'na 1070 nm ve 1940 nm laserlerini kullanma fırsatı ve histolojik analize verdikleri katkıdan dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

6. Kaynaklar

- [1] Vogly, J.T., Eichler, T., Straub, R., Engelmann K., Zangos, S., Woitaschek, D., Böttger, M. and Mack, M.G. "Laser-induced thermotherapy of malignant liver tumors: general principals, equipment(s), procedure(s) – side effects, complications and results". European Journal of Ultrasound. 13 : 117–127,2001.
- [2] Ortow, K., Russ, D., Duerr, J., Hibst, R., Mattfeldt, T., Steiner, R., Beger, H.G. "Laser Coagulation Zones Induced with the Nd-YAG Laser in the Liver" Lasers in Medical Science , 12:137-143,1997.

- [3] Çilesiz, İ. "Laser–Tissue Interactions." In Encyclopedia of Optical Engineering. DOI: 10.1081/E-EOE 120009714,2004.
- [4] Watanabe, S.. "Basics of laser application to dermatology". Archive of Dermatological Research, volume 300, Supplement 1, 21–30. DOI 10.1007/s00403-007-0801-6,2008.
- [5] Heisterkamp, J., van Hillegersberg, R., and IJzermans, J.N.M. "Critical Temperature and Heating Time for Coagulation Damage: Implications for Interstitial Laser Coagulation (ILC) of Tumors" Lasers in Surgery and Medicine 25:257–262,1999.
- [6] Geldi C., Bozkulak Ö., Tabakoğlu Ö., İşçi Ş., Kurt A., and Gülsoy M. "Development of a Surgical Diode-Laser System: Controlling the Mode of Operation" Photomedicine and Laser Surgery, 24, 723-729,2006
- [7] Javad, M.M., Abdul Qader, S.T., Zaidan, A.A., Najji, A.A ve Abdul Qader, I.T."An overview of laser principle, Laser-Tissue Interaction Mechanisms and Laser Safety Precaution for Medical Laser Users".International Journal of Pharmacology 7(2): 149-160. ISSN 1811 7775/DOI:10.3923/ijp.2011.149.160 ,2011.
- [8] Raulin, C., and Karsai (eds.), S." Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine" DOI: 10.1007/978-3-642-03438-1,2011.
- [9] Peng, Q., Juzeniene, A. , Chen, J., O Svaasand,L., Warloe, T., Giercksky, K.R ve Moan, M. "Lasers in medicine" Rep. Prog. Phys., volume 71, issue 5, doi:10.1088/0034-4885/71/5/056701,2008
- [10] Niemz M. H., "Laser-Tissue Interactions: Fundamentals and Applications"Third Revised Edition, Springer-Verlag, Berlin, 2004.
- [11] Heisterkamp, J., van Hillegersberg, R., Sinofsky, E., ve IJzermans,J.N.M. "HeatResistant Cylindrical Diffuser for Interstitial Laser Coagulation: Comparison With the Bare Tip Fiber in a Porcine Liver Model" Lasers in Surgery and Medicine 20:304–309 ,1997.
- [12] Knappe,V., Roggan, A., Glotz, M., Müller, M., Ritz, J.P., Germer, C.T., and Müller, G. "New Flexible Applicators for Laser-Induced Thermotherapy"Med. Laser Appl. 16: 73–80,2001.
- [13] Gülsoy, M., Çelikel, T., Kurt, A., Canbeyli, R., Cilesiz, I. "Er:YAG Laser Ablation of Cerebellar and Cerebral Tissue"Lasers Med.Sci, 16:40–43© Springer-Verlag London Limited,2001.
- [14] Ritz., J.P., Roggan.,A., Isbert.,I., Müller, G., Buhr, H.J., and Germer, C.T."Optical Properties of Native and Coagulated Porcine Liver Tissue Between 400 and 2400 nm". Lasers in Surgery and Medicine 29:205-212 ,2001.
- [15] Bachmann, L., and Zzell, D.M."Laser Physics and Laser Tissue Interaction", Lasers in Dentistry, Practical text book, pp. 1-14,2010.
- [16] Cox, B.T." Introduction to Laser-Tissue Interactions", PHAS 4886, Optics in Medicine, 1-62, March,2007.
- [17] İkurova, L., Habodaszova, D., Gonda, M.,Waczulikova, I.,and Vojtek, P."Penetration of Laser Light through Blood Derivatives" Laser Physics, vol. 13, No. 2, pp. 217–221,2003.
- [18] Knappe., V., Frank., F., Mesecke-von Rheinbaben., I., Roggan, A., and Müller., G. "Investigations to Compare Various Laser Wavelengths for Laser- Induced Interstitial Thermotherapy (LITT)" Laser Physics, volume. 13, No. 1, pp. 41–44,2003.



Ortalama Kayan Kip Metodu ile Denetlenen İki Fazlı Sarmışık Yapılı Yükseltici Tip Dönüştürücünün Performans Analizi

Performance Analysis of Two Phase Interleaved Converter Controlled by Average Sliding Mode Control

Fatih Karık¹

¹T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Gen. Müd.
fatihkarik@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, sürekli iletim modunda (SİM) çalışan iki fazlı sarmışık yapılı güç faktörü düzelticinin kapsamlı analizi yapılmıştır. Birim güç faktörü (GF) ve daha düşük toplam harmonik bozulma (THB) sağlamak için dönüştürücünün gerilim kontrolü oransal-integral kontrolörle ve akım kontrolü ortalama kayan kip kontrolörle (OKKK) sağlanmıştır. Dönüştürücünün analizi 1kW gücünde ve 50kHz/hücre frekansında yapılan benzetimlerle sunulmuştur. Dönüştürücünün akım-gerilim kontrol metodunun performansı, giriş gerilimi ve yük değişimi gibi farklı durumlarda çalıştırılmasıyla Matlab/Simulink programı yardımıyla araştırılmıştır. Ek olarak, bobin değerinin değişimine göre kontrol yönteminin performansı gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler:Sarmışık dönüştürücü, birim güç faktörü,ortalama kayan kip kontrol.

Abstract

In this study, a comprehensive performance analysis of power factor correction control method is presented for two phase interleaved converter operating under continuous conduction mode (CCM). The control of the converter is achieved using proportional-integral controller for voltage control and average sliding mode controller (ASMC) for current control to obtain unity power factor (PF) and lower total harmonic distortion (THD) of input current. The analysis of the converter is presented by simulations carried out on 1 kW power and 50 kHz/cell frequency. The performance of the current-voltage control method for the converter is investigated by Matlab/Simulink program for different cases of operation such as changing the input voltage and the load. In addition, the performance of control method is showed according to the variation of inductor value.

Keywords:Interleaved converter, unity power factor, average sliding mode control

1. Giriş

Günlük hayatta aa-da güç dönüşümü sağlamakta kullanılan güç kaynaklarının çoğu şebekeden sinüzoidal olmayan ve harmonik içeren akımlar

çekmektedir. Şebekeden çekilen bu şekildeki akımlar, düşük Güç Faktörü (GF) ve yüksek etkin hat akımlarının oluşmasına sebep olur. Şebekeden çekilen akımın kalitesinin düşmesi; şebeke geriliminde bozulmalara, kayıpların artmasına, elektromanyetik parazitlerin ortaya çıkmasına ve bütün bunların sonucunda şebekeden beslenen diğer cihazların bunlardan etkilenmesine sebep gücün verimsiz kullanımına neden olmaktadır. EN-61000-3-2 ve IEEE 519-1992 gibi uluslararası kuruluşlar tarafından getirilen standartları karşılamak için bir çok güç katsayısı düzeltme devresi tasarlanmıştır. Sözkonusu olumsuz etkileri gidermek amacıyla bu standartlar temel alınarak, pasif devreler kullanılarak harmonik bileşenleri azaltma, aktif güç katsayısı düzeltme ve aktif doğrultucular gibi teknikler kullanılmaktadır [1].

Klasik kontrolsüz köprü doğrultucular kullanılarak gerçekleştirilen aa-da dönüşümde GF değeri yaklaşık 0.65 civarında olmaktadır [2]. Bu doğrultucuların alternatif akım tarafına indüktans veya indüktans-kondansatör yapılarını içeren pasif devreler eklenerek harmonik bileşenler azaltılabilmekte ve beraberinde GF değeri de önemli ölçüde artırılabilir [3].

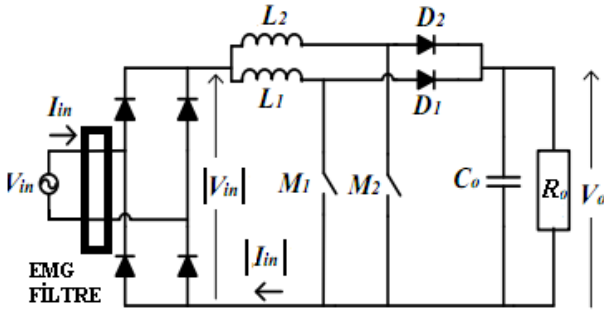
Son yıllarda, yarı iletken anahtarlama elemanlarının hız ve kapasitelerinin artışının yanı sıra denetleme elemanı olarak kullanılan mikrodenetleyici teknolojisinde de çok hızlı gelişmeler olmaktadır. Özellikle Sayısal İşaret İşlemcilerin (Sİİ) gerçek zamanlı kontrol tekniğinde kullanılması ve yüksek frekanslı anahtarlama elemanlarının üretilmesi ile yüksek performanslı yükseltici tip da-da dönüştürücüler için daha verimli algoritmalar geliştirilebilmektedir [4].

Bu çalışmada, faz farklı paralel yükselten tip dönüştürücünün güç anahtarı, yüksek GF değerleri elde etmek için denetlenmektedir. Bu amaçla, regüleli bir çıkış gerilimi elde etmek için bir gerilim denetleyici ve yüksek GF değeri için ise bir akım denetleyici kullanılmaktadır. Yükteki olası değişimler, hat gerilimindeki değişimler ve değişken çıkış gerilim isteği dayanıklı bir kontrol yöntemini zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla gerilim denetleyici olarak oransal-integral, akım denetleyici olarak OKKK yöntemi incelenip devrenin dayanıklılığı test edilmiştir.

2. İki fazlı sarmaşık yapılı yükseltici tip dönüştürücü

Bir çok uygulamada, düşük boyutlu Elektromanyetik Girişim (EMG) süzgeç gereksinimi için, endüktör akımının dalga şeklinin SIM olması ve bu akımın dalgacık oranının oldukça düşük olması istenir. Bu nedenle, orta ve yüksek güç uygulamalarında, dönüştürücü gücünü arttırmak ve giriş akım dalgacık oranını düşürmek için sarmaşık (faz farklı paralel) yükselten Güç Katsayısı Düzeltici (GKD) devreleri önerilmektedir [6-8]. Faz farklı paralelleme tekniği, birden çok güç katının faz farklı olarak anahtarlama yapmasıdır. Bu yöntemle giriş akım dalgacık oranı düşüldüğü gibi, çıkış gerilim dalgacık oranı da düşmektedir. Şekil 1'de aktarılan sarmaşık yükselten GKD devresinin uygulamadaki kullanım alanının genişliği ve diğer GKD devrelerine göre sahip olduğu avantajlardan dolayı bu çalışmanın konusu olmuştur.

Yükselten devrelerde faz farklı anahtarlama yönteminin kullanılması hem giriş akım dalgacık miktarını hem de çıkış gerilim dalgacık miktarını düşürmektedir. Bu yöntemle, dönüştürücü güç seviyesi arttırıldığı gibi daha düşük boyutlu EMG süzgece ihtiyaç duyulur [5].

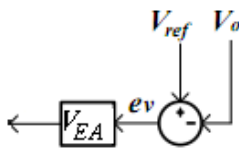


Şekil 1: Sarmaşık yükselten aktif GKD devresi

3. Uygulanan kontrol teknikleri

3.1. Oransal-integral kontrol metodu

Bu dönüştürücülerde gerilim döngüsü kontrolörü genelde oransal-integral kontrolördür ve bu kısmın tasarımı hepsinde aynıdır. Akım döngüsü yüksek hızlı (50kHz için), gerilim döngüsü ise yavaş (50Hz için) olduğundan tasarımları birbirinden bağımsızdır. Dolayısıyla bu dönüştürücüler akım döngüsünde kullanılan topolojilere göre isimler almaktadır. Gerilim döngüsü çıkış gerilimini regüle etmeyi sağlarken, akım döngüsü de giriş güç faktörü ve THB düzelmesini sağlar [2]. Şekil 2 kontrolcünün yapısını göstermektedir.



Şekil 2: Gerilim kontrolcünün yapısı

Burada gerilim hata yükseltici V_{EA} 'nın s alanında transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

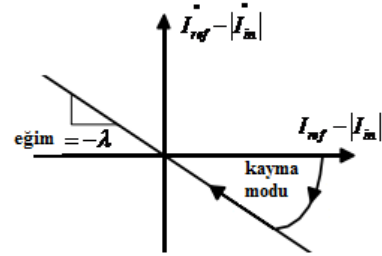
$$V_{EA} = (K_p + \frac{K_i}{s}) \quad (1)$$

Buradaki K_p ve K_i kontrolcü değerleri Ziegler-Nichols metoduna göre ayarlanabilir [12].

3.2. Ortalama kayan kip kontrol metodu

Doğrusal olmayan, parametreleri zamanla değişen ve karmaşık dinamiklere sahip sistemlerin kontrolü klasik denetleyicilerle zor olmaktadır. Bu tür sistemlerin denetiminde OKKK etkili bir kontrol yöntemidir. OKKK yönteminin kapalı çevrim kontrol sistemlerine uygulanmasında amaç, hatayı kayma yüzeyi veya diğer adıyla anahtarlama yüzeyine doğru itmek ve bu yüzeyde tutmaktır. Kayma yüzeyi durum değişkenlerinin doğrusal kombinasyonu olan bir fonksiyon olarak tanımlandığı için durum değişkenleri bu yüzey üzerine doğrusal bağımlıdır. Bu durumda, sistemin derecesi bağımsız giriş değişkeni kadar indirgenmiş olur ve sistem indirgenmiş bir kontrol kuralı ile denetlenir [9]. Bu yöntemin analizi [10-11] numaralı kaynaklarda detaylı olarak ele alınmıştır.

Kayan kipli denetimin en büyük sorunlarından bir tanesi anahtarlama frekansının değişken olmasıdır. Bu da frekansın çok yüksek değerlere çıkmasına neden olmaktadır. Bu soruna çarptırma problemi denmektedir. Anahtarlama frekansını sabitlemek için OKKK yöntemi kullanılabilir [11]. Şekil 3 tanımlanan kayma yüzeyini göstermektedir.



Şekil 3: Kayma yüzeyi

Kayan kipli denetim aşağıda verilen temel kurala dayanmaktadır.

$$S \cdot \dot{S} < 0 \quad (2)$$

Burada S ve \dot{S} 'in türevi Şekil 3'e göre Eş.3-4'teki gibi tanımlanabilir.

$$S = I_{in} - I_{ref} \quad (3)$$

$$\dot{S} = \dot{I}_{in} - \dot{I}_{ref} \quad (4)$$

Düzlem üzerinde seçilen anahtarlama doğrusu Eş. 5'te verilmiştir.

$$\dot{S} = -\lambda.S \quad (5)$$

Devrenin kontrolcü tasarımları bir fazlı yükseltici dönüştürücüye göre tasarlanmıştır. Çünkü tek fazlı ve çok fazlı sarmışık yapıları için temel kontrolcü tasarımı birbirinden farklı değildir. Sarmışık yükseltici devre için sadece d_2 görev oranı süresi, 50kHz anahtarlama sinyali için 180° faz farklı uygulanmıştır. Bir fazlı yükseltici dönüştürücünün durum uzay ortalaması sonucu elde edilen bobin akımı denklemi -bu değer aynı zamanda doğrultulmuş giriş akımı- Eş.6'da verilmiştir. Eş. 7'deki bobin akımının türevi yerine Eş.6'daki bobin akımı türevi konulup $L.I_{ref} \approx 0$ kabul edilerek d görev oranı yalnız bırakılırsa Eş.8'e ulaşılır.

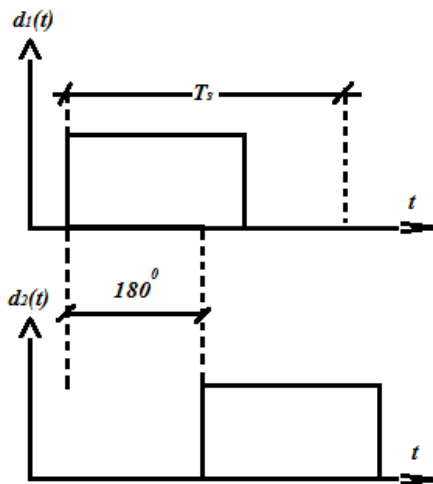
$$|I_{in}| = \left(\frac{d-1}{L}\right)V_o + \left(\frac{1}{L}\right)|V_{in}| \quad (6)$$

$$(I_{ref} - |I_{in}|) = -\lambda(I_{ref} - |I_{in}|) \quad (7)$$

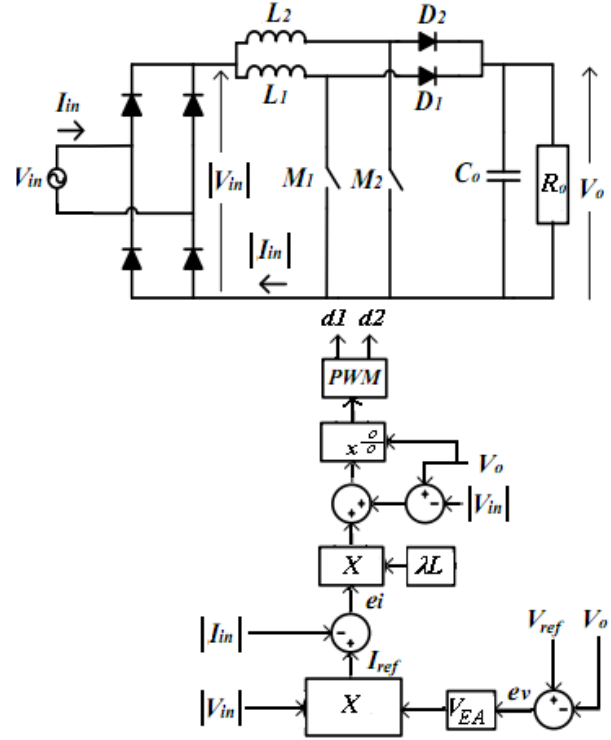
$$d = d_1 = \frac{V_o - |V_{in}| + \lambda L(I_{ref} - |I_{in}|)}{V_o} \quad (8)$$

$$d_2 = \frac{V_o - |V_{in}| + \lambda L(I_{ref} - |I_{in}|)}{V_o}. (180^\circ \text{ faz farklı})$$

verilen eşitlik incelendiğinde görev oranı değerinin oluşmasında V_{in} ve V_o gerilimi ileri besleme ile değişimini sağlamaktadır. Hata değeri bu değeri etkiler ve uygun d değeri üretilmesini sağlar. Aşağıdaki Şekil 4(a) görev oranı şekillerini, Şekil 4(b) ise gerilim ve akım döngüsüyle beraber tüm sistemi göstermektedir.



Şekil 4(a): Görev oranlarının zamana göre değişimi



Şekil 4(b): Tüm sistemin gösterimi

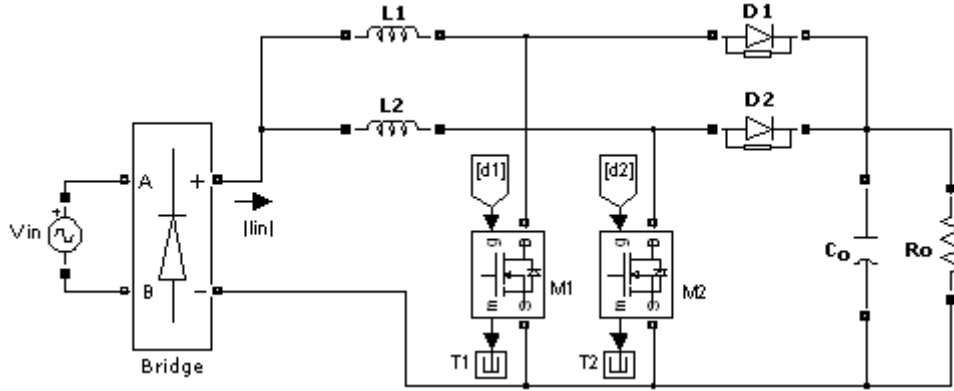
4. Benzetim sonuçları

Aşağıdaki tabloda OKKK yöntemi anma yükü için kullanılan devre parametreleri gösterilmektedir.

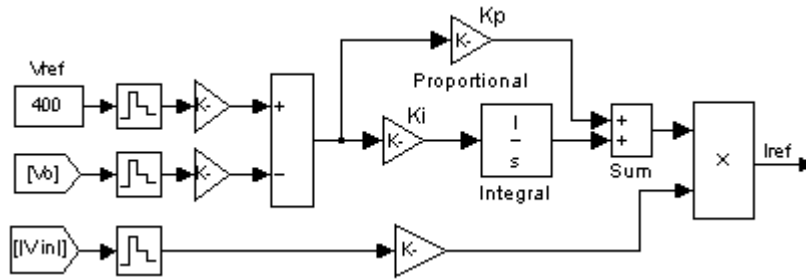
Tablo 1: Anma yükü benzetim parametreleri

Parametre	Değer
Örnekleme periyodu, T_s	20µs
Anahtarlama frekansı, f_s	50 kHz
C_o	500 µF
$L_1=L_2$	1.5 mH
Yük, P_o	1kW
V_{in}, f_{in}	220Vrms, 50Hz
V_o	400Vrms
K_p	0.1
K_i	1
$\lambda.L$	0.0625

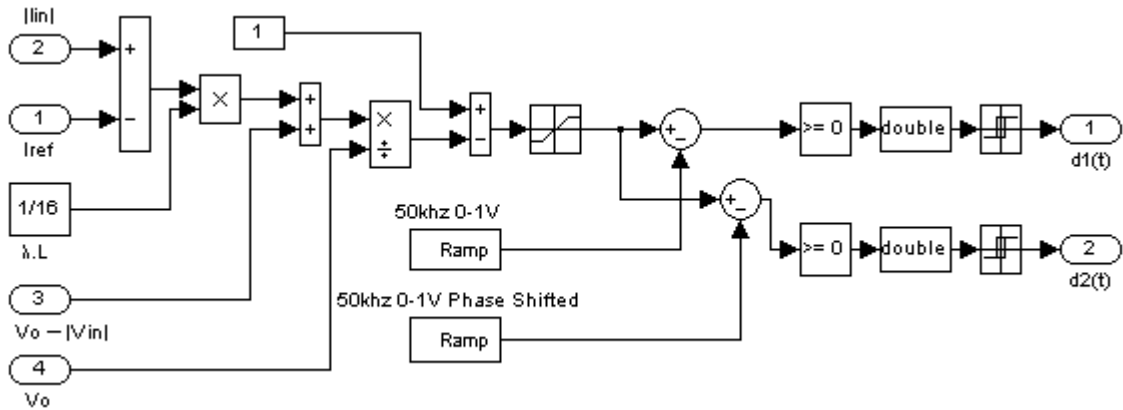
Şekil 5,6,7 benzetim devrelerini göstermektedir. Şekil 8 anma yükünde hat akımı, giriş-çıkış gerilimi değişimini göstermektedir. Şekil 9,10 sırasıyla yük ve giriş gerilimi değişimine göre devrenin tepkisini göstermektedir. Tablo 2 detaylı benzetim sonuçlarını göstermektedir.



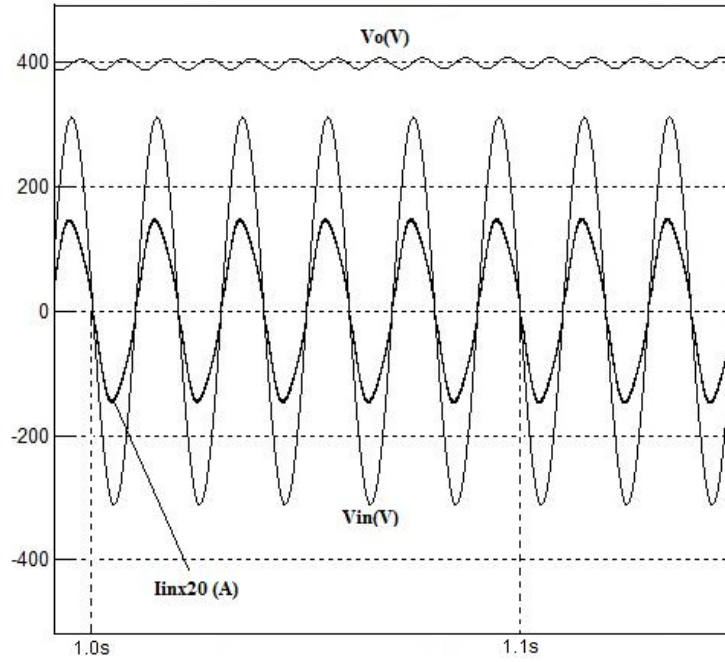
Şekil 5: Faz farklı paralel yükselten güç devresi modeli



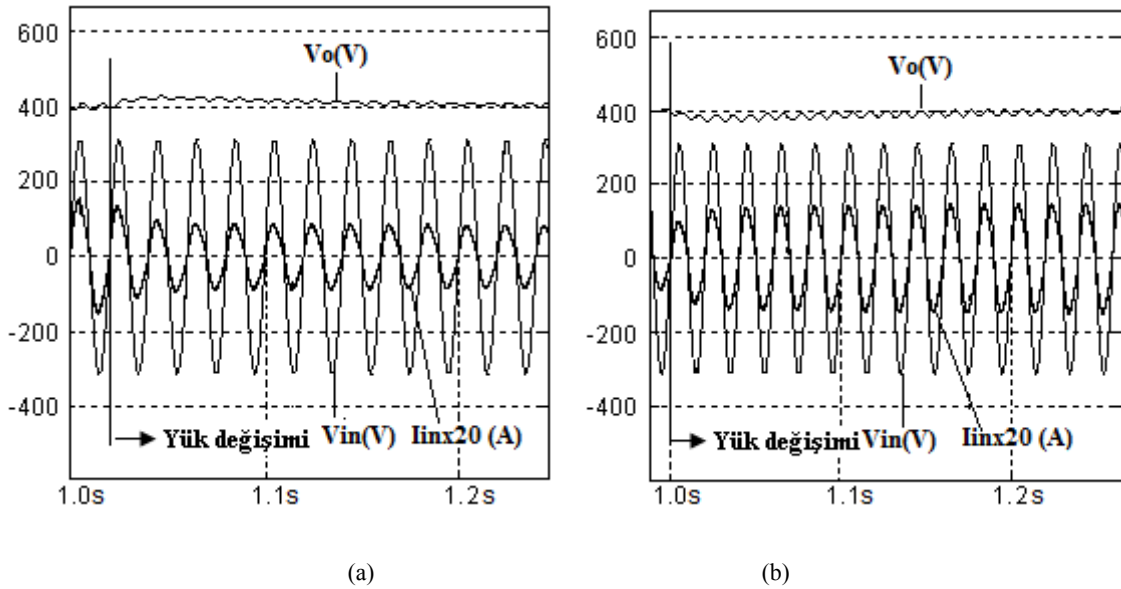
Şekil 6: Gerilim kontrolcü benzetim modeli



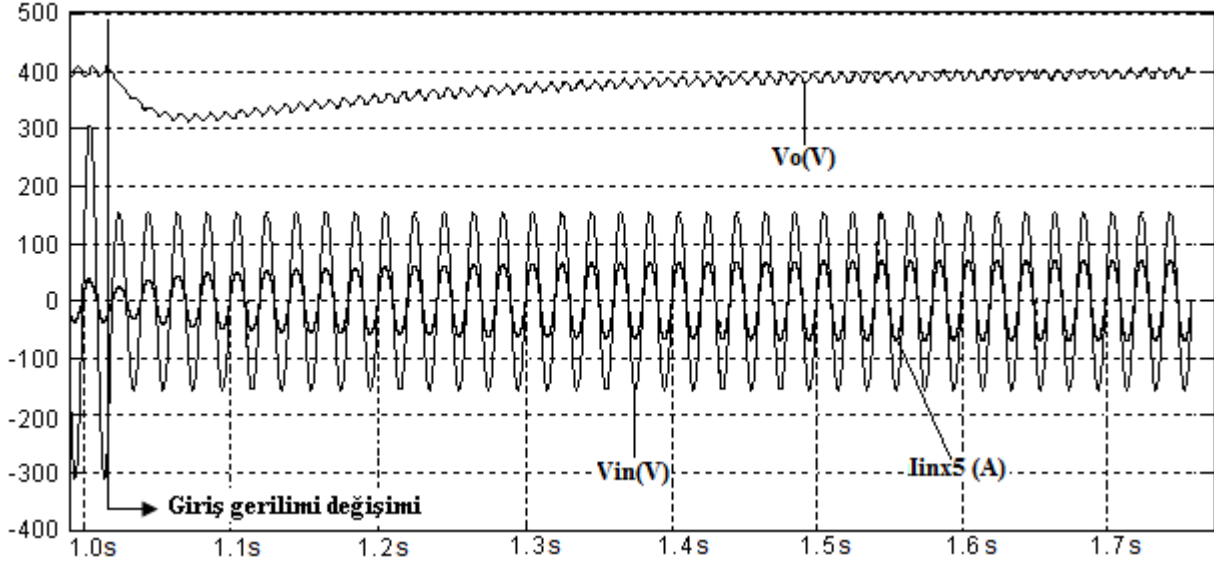
Şekil 7: OKKK yöntemini akım kontrolcü benzetim modeli



Şekil 8: Anma yükünde giriş gerilimi, hat akımı ve çıkış gerilimi değişimi.



Şekil 9: Yük değişimine göre giriş, çıkış gerilimi ve hat akımı davranışı: (a) 1 kW'tan 500W'a , (b) 500W'tan 1 kW'a



Şekil 10: Giriş gerilimi 220V'tan 110V'a indiğinde çıkış gerilimi ve giriş akımının değişimi

Tablo 2: Detaylı benzetim sonuçları

Benzetim No	1	2	3	4	5	6	7
Parametre							
P_o (kW)	1	1	1	1	1	1	0.5
$L_1=L_2$ (mH)	1.5	1.5	1.5	1	1.5	0.8	1.5
C_o (μ F)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V_{in} (Vrms)	250	300	220	220	110	220	220
GF	0.99	0.90	0.99	0.99	1	0.99	0.99
THB (%)	9.5	300	7.7	9.3	2.6	10	11

5. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, şebekeye bağlanan elektrikli sistemlerin giriş enerjisi kalitelerini ifade eden güç katsayısı ve güç katsayısının aktif yöntemle düzeltilmesi üzerinde durulmuş, sarmaşık yapılu yükseltici tip bir aktif güç katsayısı düzeltme sistemi incelenmiştir. OKKK yöntemi yükseltilen tip güç katsayısı düzeltici devreye uygulanıp Matlab/Simulink programında benzetimleri gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar sunulmuş olup detaylı analizler yapılmıştır. Kullanılan tüm kontrol tekniklerinde sabit anahtarlama frekansı kullanılarak pratik çalışmalar için bir temel teşkil edilmiştir.

Benzetimler bir parametre değiştirilerek diğer parametreler aynı kalmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Değiştirilen temel parametreler giriş gerilimi, bobin değeri, çıkış yüküdür. Dönüştürücü 220Vrms/400Vrms, $f_s=50$ kHz, 1kW şartlarında tasarlanıp performansı test edilmiştir. Dönüştürücünün bu anma değerlerinde 0.99 yüksek GF, %7.7'lik düşük bir THB ve sinüs şeklinde bir giriş hat akımı elde edilmiştir.

Tasarlanan 1kW'lık benzetim devresinde OKKK tekniğine göre endüktör değeri yarıya düşürüldüğünde devrenin giriş akımının şekli ve THB değerini çok fazla bozmadığı gözlemlenmiştir ve yine incelenen kontrol yönteminde yük ve giriş gerilimi değişimlerinde giriş hat akımının sinüs şeklinden uzaklaşmadığı görülmüştür. Bu sonuçlar devrenin güçlü bir denetim yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

Bundan sonra bu çalışmanın devamı olarak öngörülen kontrol tekniği pratik çalışmalara uyarlanarak sonuçları analiz edilebilir. Benzetimler sayısal olarak gerçekleştirildiğinden dolayı gelişmiş mikroişlemci devreleriyle uygulamalar gerçekleştirilebilir. Son yıllarda üretilen sayısal işaret işlemciler bu işlemleri gerçekleştirmeye çok uygundur. Ayrıca tasarlanan sabit anahtarlama frekansı blokları çatırdama sorununu engelleyeceğinden uygulamada büyük bir kolaylık sağlayacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Chen, Z., Raymond, B.R. ve Fred, C.L., "Design Analysis of a Hysteresis Boost Power Factor Correction Circuit", *Power Electronics Specialists Conference PESC '90 Record-21st Annual IEEE*, 1990, 800-807.
- [2] Rossetto, L., Spiazzi, G. ve Tenti, P., "Control Techniques For Power Factor Correction Converters", *Proc. Int. Conf. Power Electronics and Motion Control*, 1995, 1310-1318.
- [3] Mohan, N., Undeland, T.M. ve Robbins, W.P., *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, John Wiley&Sons, Inc. ,1995
- [4] Tuncer, S. ve Tatar, Y., "Yükseltici Tip Bir Dönüştürücü Devrede Güç Katsayısının Bulanık Denetimle Düzeltilmesi", *TOK'2000 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 21-22 Eylül 2000, 77-81.
- [5] Genç, N., *Yüksek Giriş Güç Katsayılı ve Sıfır-Gerilim-Geçişli Yeni Bir Paralel Yükselten AA/DA Devre Tasarımı ve Uygulaması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [6] Elmore, M. S., "Input current ripple cancellation in synchronized, parallel connected critically continuous boost converters", *IEEE APEC'96 Cnf., San Jose, CA*, 1996, 152-158.
- [7] Lee, P. W., Lee, Y. S., Cheng, D. K. W., ve Liu, X. C., "Steady-state analysis of an interleaved boost converter with coupled inductors", *IEEE Trans. on Ind. Electronics*, 47(4), 787-795,2000.
- [8] Braga, H. A. C. ve Barbi, I., "A 3-kW unity-power-factor rectifier based on a two-cell boost converter using a new parallel-connection technique", *IEEE Trans. on Power Electronics*, 14(1), 209-217,1999.
- [9] Kayışlı, K., Tuncer, S. ve Poyraz, M., "Kayma Mod Denetleyici Kullanılarak Aktif Güç Faktörü Düzeltimi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 253-260, 2008.
- [10] Mattavelli, P., Rossetto, L. ve Spiazzi, G., "Small-Signal Analysis of DC-DC Converters with Sliding Mode Control", *IEEE Trans. Power Electronics*, 12 (1), 96-102, 1997.
- [11] Navarro-López, E.M., Cortés, D. ve Castro, C., "Design of practical sliding-mode controllers with constant switching frequency for power converters", *Electric Power Systems Research*, 79, 796-802, 2009.
- [12] Ziegler, J.G. ve Nichols, N.B., "Optimum settings for automatic controllers", *Transactions of the ASME*, 64, 759-768,1942.



Yenilenebilir Dağıtık Üretim Koşullarının Güç Sistemlerinin Yük Akışına Etkilerinin Analizi

A Load Flow Analysis for Impacts of Renewable Distributed Generation Conditions on Power Systems

Asım Kaygusuz¹, Ozan Gül², Barış Baykant Alagöz¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği

İnönü Üniversitesi

asim.kaygusuz@inonu.edu.tr, baykant.alagoz@inonu.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Bingöl Üniversitesi

ozan.m.r.gul@hotmail.com

Özet

Günümüz elektrik şebekelerinde, yenilenebilir dağıtık enerji kaynaklarının güç sistemine entegrasyonu giderek yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir dağıtık kaynakların güç sistemlerinin yük akışına etkileri analiz edilmesi önem arz etmektedir. Özellikle, yakın gelecekte akıllı şebeke uygulamaları ile birlikte güneş ve rüzgar gibi enerji üretim süreksizliğine sahip enerji kaynaklarının yoğun bir şekilde güç sistemine dağıtık entegrasyonu söz konusu olacaktır. Bu koşullarda, güç sisteminde yük akış kararlılığının sürdürülebilmesi için, sistemde oluşabilecek olumsuz durumlarının önceden görülmesi ve gerekli tedbirlerin alınması, güç sisteminin doğru ve etkin yönetimi için gerekli bir adımdır. Bu problemin çözümünde, süreksiz kaynakların güç üretim değişkenliklerini göz önünde tutan yük akış analizlerine ihtiyaç vardır. Bu tip analizler, süreksiz dağıtık üretimin yaygınlaştığı güç sistemlerinin yönetimi ve planlamasında önemli bileşenler haline gelecektir. Bu amaçla, bu makalede saat-bazlı günlük ortalama üretim profilleri ile modellenen yenilenebilir dağıtık kaynakların sisteme katıldığı durumlar için yük akış analizi yapılmıştır. Bu analizlerde, gün içi bara gerilim seviyesi ve güç faktör değişimleri analiz edilerek değerlendirilmiştir. Dağıtık yenilenebilir kaynakların, gerilim seviyesinde ciddi bir değişime neden olmadığı, güç faktöründe ise artan üretim ile birlikte dikkate değer düşüşlerin olabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Günlük saat bazlı yük akış analizi, dağıtık kaynaklar, yenilenebilir güç kaynak entegrasyonu

Abstract

In today's electric distribution grids, integration of distributed renewable energy sources to the grid is presenting an increasing trend. Hence, investigation of impacts of renewable distributed generation is a necessity. Particularly, depending on smart grids technologies, dense integration of

intermittent energy sources based on solar and wind energy, will be available in near future. In this case, detection of adverse system conditions and planning for the necessary protections are important for the management of resources effectively and reliably. For the solution of this problem, there is need for the load flow analyses that consider the variability and fluctuations of discrete renewable sources. These analyses will be useful for management and planning of the power systems containing distributed renewable energy generation. For this propose, authors conduct 24-hours load flow analyses for power system containing intermittent renewable sources. These sources are modeled by hourly generation profiles. Bus voltage and power factor changes in buses are evaluated for a day. It was observed that bus voltages did not alter considerably; however, as increasing volume of distributed renewable generation, power factors can decrease.

Keywords: load flow analysis based on daily hours, distributed sources, the integration of renewable power sources

1. Giriş

Enerji üretiminde, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı gün geçtikçe artmaktadır. Rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretiminin, küresel iklim ve çevre kirliliği üzerinde daha az olumsuz etkiye sahip olması, enerji üretimi için yakıt gerektirmemesi gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı toplam enerji üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır [1]. Bu tür yenilenebilir kaynakların, geleneksel güç sistemine entegre edilmesinin önündeki en önemli güçlük, üretim süreksizliği ve belirsizlikleri olarak gösterilmektedir. Üretim belirsizlikleri ve süreksizlikleri, sistemin yük akışlarında anlık değişimlere neden olabilmektedir. Bu değişimlerin sisteme negatif etkilerinin önceden tespit edilmesi, önleyici tedbirlerin ve planlamaların uygulanması, sağlıklı ve etkin güç dağıtımı için gereklidir. Bundan dolayı, yenilenebilir dağıtık enerji kaynaklarının

belirsizlik içeren karakterinin, sistemin yük akış kararlılığına etkilerinin incelenmesi oldukça önem kazanmaktadır.

Yük akış analizi için farklı matematiksel teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler Newton-Raphson [2], Fast-Decoupled [3,4], Gauss-Seidel [5] gibi matematiksel algoritmalarıdır. Bu matematiksel algoritmaların yanı sıra parçacık sürü optimizasyonu [6], bulanık mantık algoritması [7], diferansiyel evrim algoritması [8], tabu araştırma algoritması [9], bakteri kolonisi optimizasyonu [10] gibi modern sezgisel metotlar da kullanılmıştır.

Özellikle 1960'lı yıllarda dijital bilgisayarın icadı ve kullanımının yaygınlaşmasıyla yük akış problemleri için bir çok yöntem geliştirilmiştir [2]. Özellikle nümerik yöntemler üzerinde çalışılmış, fast-decoupled gibi Newton metodunun farklı versiyonları da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [4]. Ray D. Zimmerman ve Hsiao-Dong Chiang da bu yöntemi kullanarak dengesiz radyal dağıtım sistemleri üzerinde yük akış çalışması yapmıştır [3]. Nümerik yöntemler özellikle Newton-Raphson metodu analizi, çözüme yakınsama hızı ve doğruluğu bakımından en yaygın kullanıma sahip temel bir metot haline gelmiştir. Newton-Raphson yöntemi çok değişkenli lineer olmayan denklemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu metoda göre başlangıçta, değişkenlerin değerleri rastgele belirlenir. Bu değerlerin kullanılması ile yeni değerler üretilir. En son üretilen iki değer arasında kabul edilebilir küçük bir fark sağlanana kadar iteratif olarak çalışma devam ettirilir. Newton-Raphson yük akışının amacı, tüm yük baralarının gerilim genlik değerleri ile salınım barası dışındaki tüm baraların açılı değerlerini belirlemektir. D. Shirmohammadi, H.W. Hong, A. Semlyen ve G.X. Luo [11] tarafından 1988'de yapılan çalışmada çok girişli kompanzasyon tekniği ve Kirchoff yasasının temel formasyonu kullanılarak zayıf ağılı dağıtım ve iletim şebekelerinin çözümü için bir yük akış metodu tarif edilmiştir. Bahsedilen metod çok iyi bir yakınsamaya sahip olup bu metodu uygulandığı bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve radyal zayıf ağılı birkaç dağıtım ve iletim şebekesine başarıyla uygulanmıştır. Sözü edilen metod tek fazlı (dengeli) şebekelerin yanı sıra üç fazlı (dengesiz) şebekelerin çözümüne de uygulanabilmiştir. 1995 yılında Carol S.Cheng ve D. Shirmohammadi'nin [12] birlikte yaptıkları çalışmada ana dağıtım sistemlerinin gerçek zamanlı analizi için üç fazlı durumda yük akış çözümü sunulmuştur. Bu yöntem tek fazdan üç faza zayıf ağılı dağıtım sistemleri için kompanzasyon tabanlı yük akış metodunun (önceki kısımda açıklanan çalışma) doğrudan bir açılımı olup dengesiz ve dağıtılmış yükler, gerilim regülatörleri ve otomatik kontrollü paralel kapasitörler üzerine vurgu yapılmıştır. Kompanzasyon fikri, üretim baralarında gerilim genlik uyumsuzluğunu giderebilmek için başarılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu metod dağıtım otomasyon sistemlerinde gerçek zamanlı uygulama için gereken yüksek çalışma hızını sağlamıştır.

Yakın bir gelecekte, akıllı şebeke (Smart Grid) uygulamaları ile yenilenebilir dağıtık kaynakların dağıtım şebekesine entegrasyonunun gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir [1,13-21]. Bu noktada, enerji üretim süreksizliği ve belirsizliği olan enerji kaynaklarının (güneş ve rüzgar enerjisi gibi) güç dağıtım şebekesine etkilerinin analizi önem kazanmaktadır. Bu sistemlerin neden olduğu üretim dalgalanmaları durumunda şebeke koşullarının kabul edilebilir

sınırlar içinde çalışmasının sağlanması için analiz ve yönetim metodlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemi yük akışına etkileri Newton-Raphson yük akış analizleri yardımı ile incelenmiştir. Bu amaçla, güç üretim belirsizliği ve süreksizliği sergileyen yenilenebilir kaynaklar, 24-saatlik ortalama üretim profilleri ile tanımlanmıştır. Bu kaynaklar, IEEE 39 bara güç sistemine dağıtılarak, güç sisteminin yük akış analizi saatlik bazda günlük olarak incelenmiştir. Bu analizlerde, güç sistemin gün içinde maruz kalabileceği değişken güç talep koşullarının analizlere yansıtılması için baralara bağlı yükler 24 saatlik ortalama güç talep profilleri yardımı ile dinamik olarak modellenmiştir. Bu sistemde çeşitli senaryolar için saatlik periyotla örneklenmiş yük akış analizleri, Newton-Raphson nümerik çözümleri temelinde gerçekleştirilmiş ve böylece hızlı ve düşük yakınsama hatalı, yük akış çözümlenmeleri elde edilebilmiştir [22]. Elde edilen çözümler üzerinde, istatistikî analizler yapılarak, gün içi bara gerilim seviyesi değişimleri ve bara güç faktörü değişimleri incelenmiş, değişkenlik faktörü (standart sapma / ortalama (σ / μ)) analizleri yapılmıştır.

2. Nümerik Analiz Metodu

Güç sistemlerinin analizinde karşılaşılan problemlerin çözümünde lineer olmayan denklemlerle karşılaşılır. Bu denklemleri çözmek için nümerik yöntemler kullanılır. Yük akış analizinin temel amacı verilen bir güç sisteminde, üretim ve tüketim değerleri için, baralar üzerindeki kompleks gerilim ve hatlar üzerinde akan kompleks güç değerlerini bulmaktır.

Yük akış probleminin çözümü, her bir baradaki gerilimin genliği, faz açısı ve her bir hatta akan aktif ve reaktif gücün belirlenmesini sağlar. Bir yük akış problemi çözümlenirken sistemin normal, dengeli şartlar altında çalıştığı ve tek hat diyagramıyla temsil edildiği kabul edilir. Her bir barada ele alınması gereken değişkenler, gerilim genliği (V), gerilim faz açısı (δ), aktif güç (P) ve reaktif güçtür (Q). Bazı baralar jeneratörlerle beslenir ve bu baralar üretim barası olarak isimlendirilir. Bu baralarda gerilim genliğinin ve aktif gücün bilindiği (sabit) kabul edilir. Jeneratöre bağlı olmayan diğer baralar yük barası olarak adlandırılır. Tüm baralarda kompleks yük gücünün bilindiği kabul edilir. Kısaca özetlemek gerekirse bir güç sistemindeki baralar 3 gruba ayrılır:

i-Referans bara olarak da adlandırılan salınım barası, gerilimin genliğinin (V) ve faz açısının (δ) bilindiği aktif (P) ve reaktif gücün (Q) bulunacağı baradır. Güç sistemindeki kayıpların neden olduğu üretilen güç ile planlanan yük arasındaki fark bu bara üzerinden değerlendirilir.

ii-P-Q barası olarak da adlandırılan yük baraları, aktif (P) ve reaktif gücün (Q) biliniyor bara geriliminin genliğinin (V) ve faz açısının (δ) arandığı baralardır. Yük baralarında güç harcandığı için aktif ve reaktif güç değerleri negatif değerler alır.

iii-P-V barası yada gerilim kontrollü bara adıyla da bilinen üretim baraları, aktif güç (P) ve gerilim genliğinin (V) bilindiği, gerilim faz açısının (δ) ve reaktif gücün (Q) belirleneceği baralardır.

2.1. Newton-Raphson Metodu

Newton metotları yük akışı denklemlerinin çözümü için iteratif metotlara (Gauss, Gauss-Seidel ...) göre kuadratik yakınsama karakteristiğine sahiptir [23]. Özellikle büyük çaplı güç sistemleri için Newton-Raphson metodu çok daha verimli ve uygulanabilir. En belirgin üstünlüklerinden birisi de çözüme ulaşmak için gereken adım sayısının sistemin boyutundan bağımsız olmasıdır. Fakat bu sırada çözümü elde ederken adım başına harcanan işlem yükü fazladır. Yük akış analizinde gerilim kontrollü baralar için aktif güç ve gerilim genliği bilindiğinden yük akış denklemleri kutupsal formda ifade edilir. Newton-Raphson yük akış analiz metodunu burada kısaca özetlemek gerekirse: [22].

Bir i barası ve bu baraya bağlı hatlar dikkate alınarak Kirchoff Akım Yasası'ndan

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + \delta_j \quad (1)$$

ifadesi kutupsal formda elde edilir. Bara i 'deki kompleks güç,

$$P_i - jQ_i = A = V_i I_i \quad (2)$$

olarak ifade edilir. Denklem (1) ve denklem (2) kullanılırsa

$$P_i - jQ_i = (|V_i| \angle -\delta_i) \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + \delta_j \quad (3)$$

elde edilir. Burada, Y_{ij} i ve j baraları arasındaki admitans değeridir. Baralar arasındaki admitans değerleri, Bara admitans matrisinde (Y_{BARA}) tanımlanarak, güç sistemi, yük akış analizi için tanımlanır. Denklem (3)'de görülen kompleks güç ifadesi gerçek ve sanal kısımlarına ayrılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\angle_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

Elde edilen (4) ve (5) denklemleri, bağımsız değişkenler (gerilim genliği ve gerilim faz açısı) içeren çözülecek olan nonlineer denklem sistemini oluşturur. Her bir yük barası için P_i ve Q_i denklemleri, her bir jeneratör barası için P_i denklemleri kullanılır. Bu iki denklem yüksek dereceli terimler ihmal edilerek başlangıç değeri civarında Taylor serisine açılmak sureti ile denklem (6) ile temsil edilen lineer bir denklem sistemine dönüştürülür.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & & & & \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & & & & \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (6)$$

Aşağıdaki denklemde J , Jacobian matrisi olarak adlandırılır. Burada Jacobian matrisi gerilim faz açısı ve gerilim genliğindeki değişim oranıyla aktif ve reaktif güçteki değişim oranı arasındaki ilişkiyi belirler. Jacobian matrisi bir üstteki aktif ve reaktif güç denklemlerinin açı ve genlik değişimlerine göre kısmi türevlerinden oluşur.

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (8)$$

Denklem (8) ile ifade edilen lineer denklem sistemi, iteratif olarak aşağıdaki çözüm adımları ile hesaplanır.

$$\delta^{m+1} = \delta^m + \Delta \delta \quad (9)$$

$$|V|^{m+1} = |V|^m + \Delta V \quad (10)$$

Hesaplamalar, bir m iterasyon adımında, gerilim ve faz açısındaki değişim (ΔV ve $\Delta \delta$) önceden belirlenmiş bir hata eşliğinden küçük olunca kadar devam ettirilir.

2.2. Newton-Raphson Metodu Temelinde 24- Saatlik Dinamik Yük Akış Analizi

24-saatlik dinamik yük akışı analizlerini gerçekleştirmek için bir önceki bölümde kısaca özetlenen Newton-Raphson yük akış analiz metodundan faydalanılmıştır. Bu amaçla, dağıtık kaynaklar sürekli ve süreksiz kaynaklar olmak üzere iki farklı tipte modellenmiştir. Sürekli kaynakların, aktif ve reaktif güç değerlerinin 24 saat boyunca bir ortalama değer civarında nerede ise sabit kalabildiği varsayılmıştır. Örneğin barajların, termik santraller çıkış güçleri gibi. Süreksiz kaynaklar ise kaynak tipine (Rüzgar, güneş..vs) göre 24 saatlik aktif ve reaktif güç üretim profilleri 24 bileşenli G_p ve G_Q vektörleri

ile temsil edilmiştir. Bu kaynakların aktif ve reaktif güç değerlerinin 24 saat boyunca değişkenlik gösterdiği varsayılmıştır. Benzer yaklaşımla, bara yükleri az değişken ve değişken güç talep profillerine uygun olarak iki farklı tipte modellenmiştir. Az değişken yükler, sanayi bölgeleri gibi, gece vardiyaları nedeni ile 24 saat boyunca yüksek salınım göstermeyen yük modelleri için kullanılmıştır. Değişken güç talebi profilleri ise hane tüketicileri gibi 24 saatlik zaman dilimi içinde ciddi salınımlar gösteren yük modelleri için kullanılmıştır. Değişken yükler 24 bileşenli P_L ve Q_L vektörleri ile tanımlanmıştır. Saatlik bazda günlük yük akış analizleri, günün her saati için (1'den 24'e kadar) ilgili kaynak ve yük değerleri önceden tanımlanmış G_p , G_Q , P_L , Q_L vektörlerinden alınarak, Newton-Raphson metodu kullanılmak sureti ile gerçekleştirilmiştir. 24-Saatlik yük akış analizi için hesaplama adımları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Bara gerilim ve güç faktörü değişimlerinin değerlendirilmesi için dinamik yük akış analizleri sonucunda

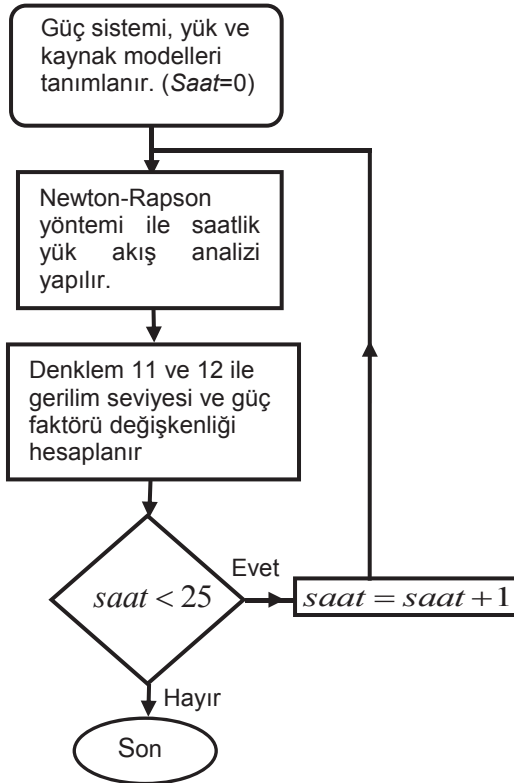
her yük barasına ait gerilim değerleri (V_d) ve güç faktörü ($\cos \theta_d$) saatlik bazda elde edilmiştir. Yük baralarında, gün içinde gerçekleşen gerilim ve güç faktörü değişimleri, istatistikî değişkenlik katsayısı (Coefficient of Variation) hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$V_\sigma = \sigma(V_d) / \mu(V_d) \quad (11)$$

Burada $\sigma(\cdot)$ bara geriliminin günlük standart sapması ve $\mu(\cdot)$ ise bara geriliminin günlük ortalama değeridir. V_σ değişkenlik faktörü, baralardaki günlük gerilim değişimleri hakkında karşılaştırılabilir bir istatistikî veri sunmuştur. Benzer bir yaklaşımla, baralardaki güç faktöründeki değişkenlik,

$$\cos \theta_\sigma = \sigma(\cos \theta_d) / \mu(\cos \theta_d) \quad (12)$$

denklemi ile ifade edilmiştir. Burada $\cos \theta_\sigma$ güç faktöründeki değişkenliği temsil etmektedir.

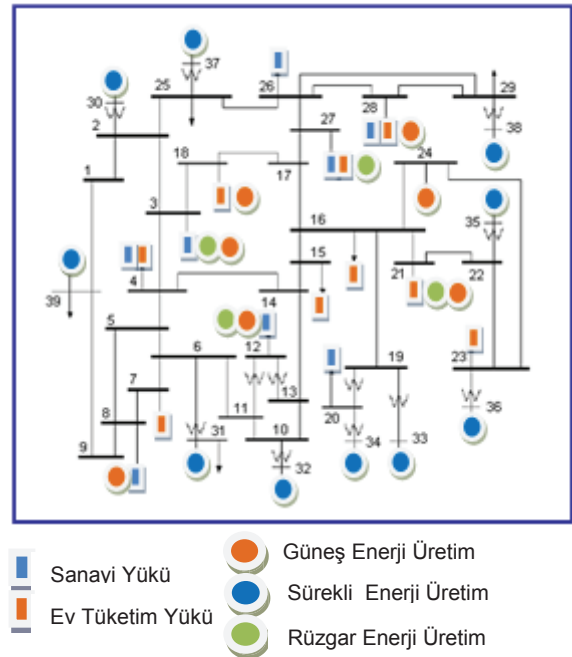


Şekil 1. 24-Saatlik yük akış analizi için hesaplama adımları akış diyagramı.

3. IEEE 39-Bus Test Güç Sistemi Üzerinde 24 saatlik Dinamik Yük Akış Analizleri

Örnek bir uygulama için enerji pazarı problemleri için sıkça kullanılan IEEE 39-bus test sistemi üzerinde saatlik bazda yük

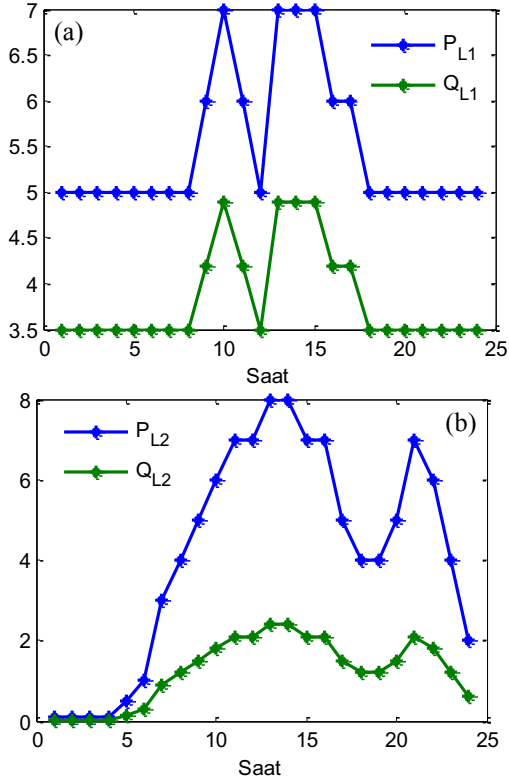
akış analizi testleri yapılmıştır. Bu test sistemine Şekil 2’de görüldüğü gibi dinamik yükler ve yenilenebilir dağıtık kaynaklar eklenerek farklı test senaryoları kurgulanmıştır. Bu amaca dönük olarak, iki tip dinamik test yükü tanımlanmıştır. Birincisi, sanayi bölgeleri gibi güç tüketim değişkenliği nispeten düşük olan yük talep profili, P_{L1}, Q_{L1} vektörleri ile temsil edilmiş ve Şekil 3(a)’de gösterilmiştir. Diğer yük modeli ise hane tüketici bölgeleri gibi güç sarfıyatı yüksek değişkenlik gösteren yük talep profili, P_{L2}, Q_{L2} ile vektörleri ile temsil edilmiş ve Şekil 3(b)’de gösterilmiştir. Bu çalışmada güç talep profilleri tüketici davranışlarına uygun olarak varsayımsal olarak belirlenmiştir. Bu yük analizi testi simulasyonunda güç sistemine enerji sağlayan üç tip kaynak profili tanımlanmıştır. Sürekli enerji kaynakları (Hidro enerji, termik enerji, nükleer enerji .vs) için üretim profili G_{P1}, G_{Q1} vektörü ile tanımlanmıştır. Süreksiz ve yüksek belirsizlik gösteren yenilenebilir kaynaklardan rüzgar enerji üretim profili G_{P2}, G_{Q2} vektörü, güneş enerji üretim profili ise G_{P3}, G_{Q3} vektörü ile tanımlanmıştır. Şekil 4’de üç tip enerji üretim kaynağı için analizde kullanılan üretim profilleri gösterilmiştir. Bu profiller, kaynakların saatlik davranışlarına uygun ve varsayımsal olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Örnek uygulama için IEEE 39-bus test sistemi

Yenilenebilir dağıtık kaynaklarının, bara gerilim ve güç faktörü kararlılığına etkileri iki test senaryosu kullanılarak, saatlik bazda incelenmiştir. Birinci test senaryosu, yenilenebilir dağıtık kaynakların bulunmadığı merkezi üretim durumu için yapılmıştır. Bu test senaryosu *mevcut durum* (MD) olarak adlandırılmıştır. İkinci test senaryosu, yenilenebilir dağıtık kaynakların sisteme Şekil 2’de gösterildiği gibi dağıtılması sonucu ortaya çıkan durumların

analizi için hazırlanmıştır. Bu test senaryosu *dağıtık üretim durumu* (DU) olarak adlandırılmıştır.

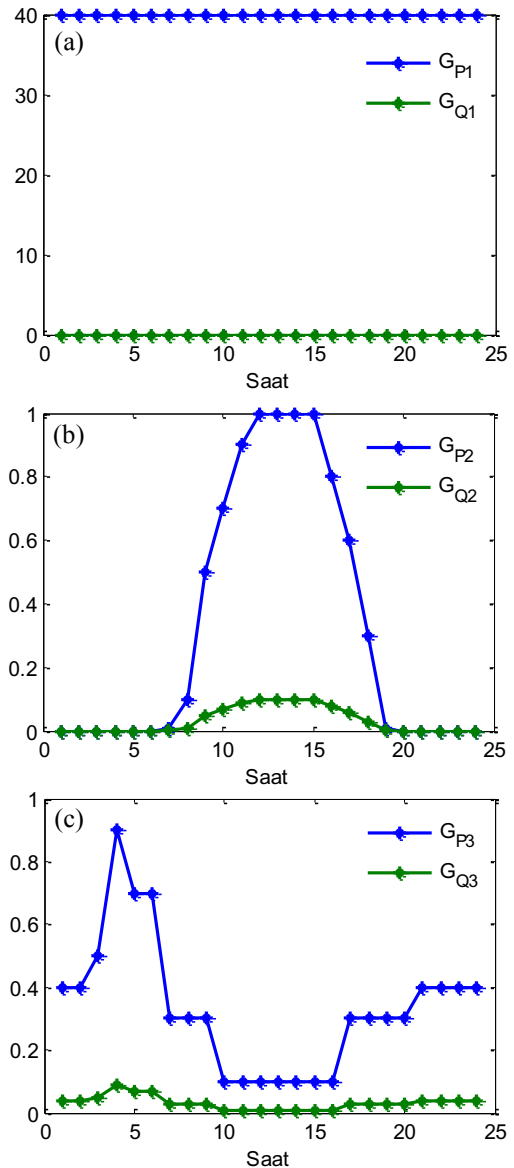


Şekil 3(a) Sanayi bölgelerinin güç tüketimini modelleyen az değişimli yük talep profili (P_{L1}, Q_{L1}). (b) Tüketici bölgeleri güç sarfiyatını modelleyen, yüksek değişkenlikli yük talep profili (P_{L2}, Q_{L2}).

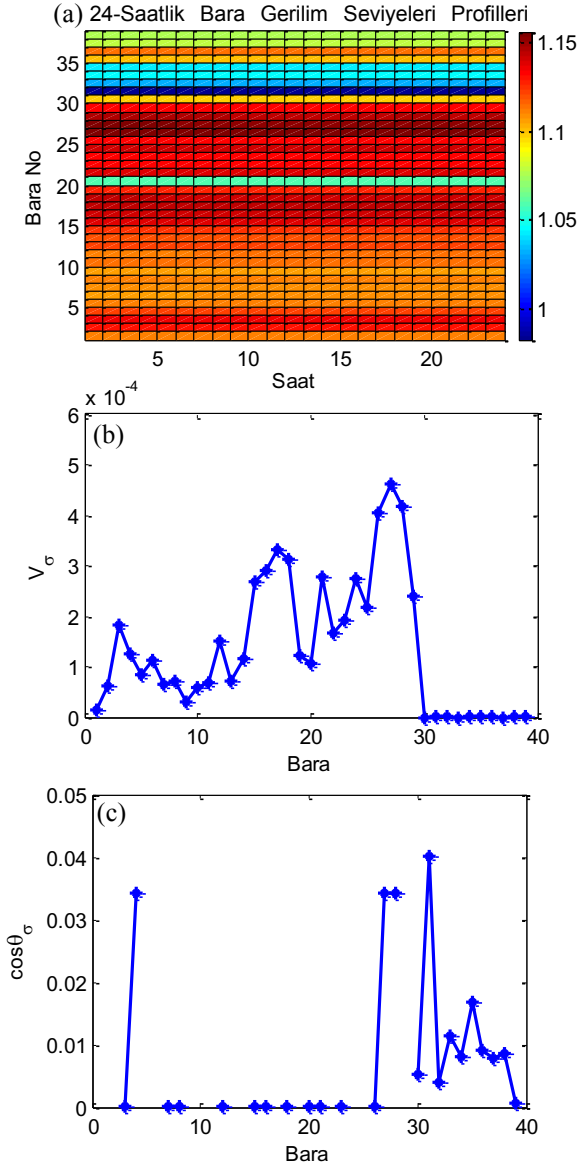
Şekil 5'de MD senaryosu için 24-saatlik yük akış analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 5(b)'de bara numarası 30 ve daha yüksek baralar sadece üretim baraları olduğu için burada gerilim değişkenliği sıfır düzeyinde kalmıştır. Daha küçük bara numaralı baralarda ise yük baraları ile yük bağı olmayan geçiş baraları mevcuttur. Bu analizde, Bara-27 de, %0.05 düzeyinde en yüksek günlük gerilim değişkenliği görülmüştür. Şekil 5(c)'de en fazla %4 düzeyinde güç faktörü değişkenliği görülmektedir. Geçiş baralarında, yük veya kaynak bağı olmadığı için, güç faktörleri hesaplanmamıştır. Bu durum Şekil 5(c)'deki karakteristikte güç faktör değeri hesaplanmamış baralar görülmektedir.

Şekil 6(a) ve (b)'de mevcut durum (MD) ile dağıtık üretim senaryo varyantlarının (DU, DUX5, DUX8) karşılaştırılması yapılmıştır. Burada DUX5 ve DUX8 senaryoları, yenilenebilir dağıtık kaynakların enerjisinin DU'daki seviyesinin 5 katına ve 8 katına çıktığı test koşullarını temsil etmektedir. Buna göre, DU düşük güçlü yenilenebilir enerji üretim koşullarını, DUX5 orta düzey yenilenebilir enerji üretim koşullarını, DUX8 ise yaklaşık olarak bütün lokal tüketime cevap verebilecek yüksek düzeyli yenilenebilir enerji üretim koşullarını temsil etmektedir. Şekil 6(a)'de görüldüğü üzere, yenilenebilir

kaynaklar ile dağıtık üretim, bara gerilim seviyelerinin günlük değişkenliğini (V_{σ}) dikkate değer ölçüde etkilememiştir. Güç faktörlerinde ise bazı baralarda günlük ortalama değişkenlikte ($\cos \theta_{\sigma}$), %2-3 civarındaki artış dikkat çekmektedir. Bunun nedenini daha detaylı görmek için, baraların 24-saatlik gerilim seviyesi, güç faktörü, aktif ve reaktif güç profillerini daha detaylı incelememiz gerekir. Bu amaçla, aşağıda Bara-15, Bara-27 ve Bara-28'in gerilim seviyeleri, güç faktörleri, aktif ve reaktif güç durumları hesaplanmış ve yenilenebilir kaynakların üretimi ile dağıtık üretiminin etkileri tartışılmıştır.

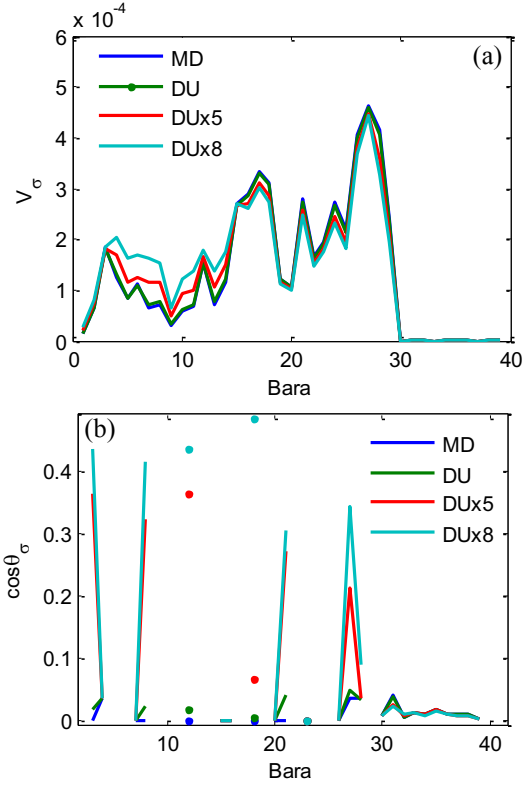


Şekil 4 (a) Sürekli enerji kaynakları üretim profili (G_{P1}, G_{Q1}). (b) Rüzgar enerji kaynakları üretim profili (G_{P2}, G_{Q2}). (c) Güneş enerji kaynakları üretim profili (G_{P3}, G_{Q3}).



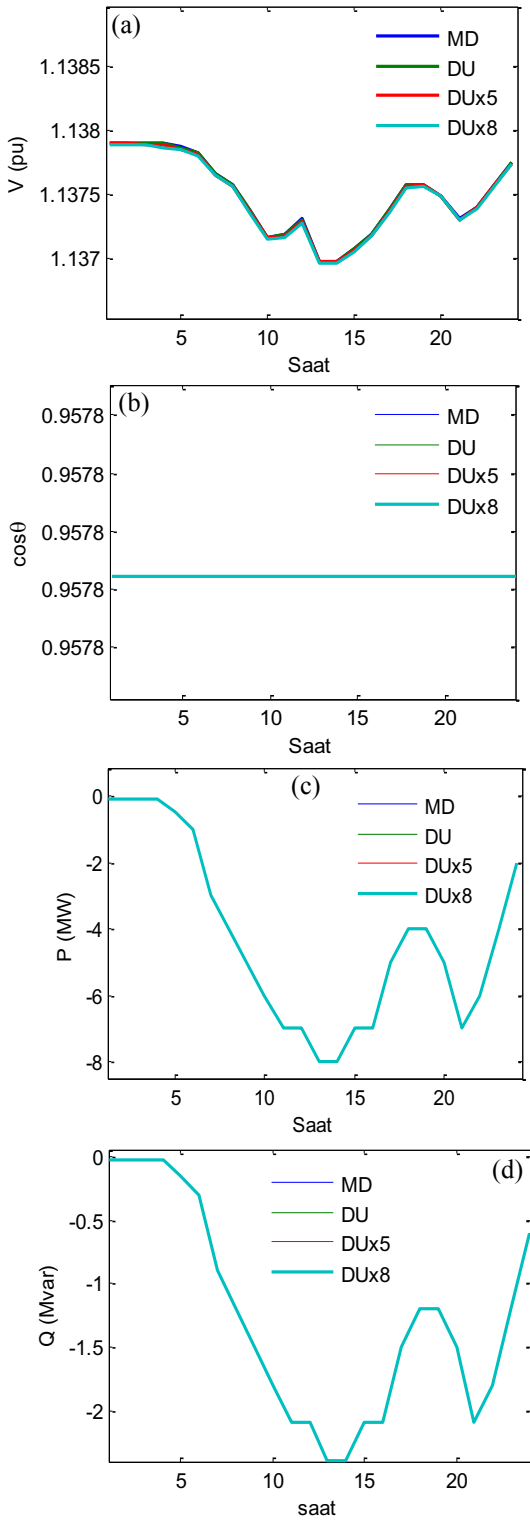
Şekil 5. IEEE-39 bus test sisteminin MD senaryosu analizinde elde edilen (a) Bara gerilim seviyesi 24-saatlik profilleri. (b) Baraların günlük gerilim değişkenlikleri (c) Baraların günlük güç faktörü değişkenlikleri

Bara-15'e sadece hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden yük bağlıdır. Şekil 7'de görüldüğü gibi, yenilenebilir dağıtık kaynak barındırmayan sadece dinamik yük içeren Bara-15, diğer baralara bağlanan yenilenebilir dağıtık kaynakların üretimlerinden pek etkilenmemiştir. Baralarda aktif ve reaktif güç profilinin negatif değerli olması, barada güç tüketimi olduğuna işaret eder.

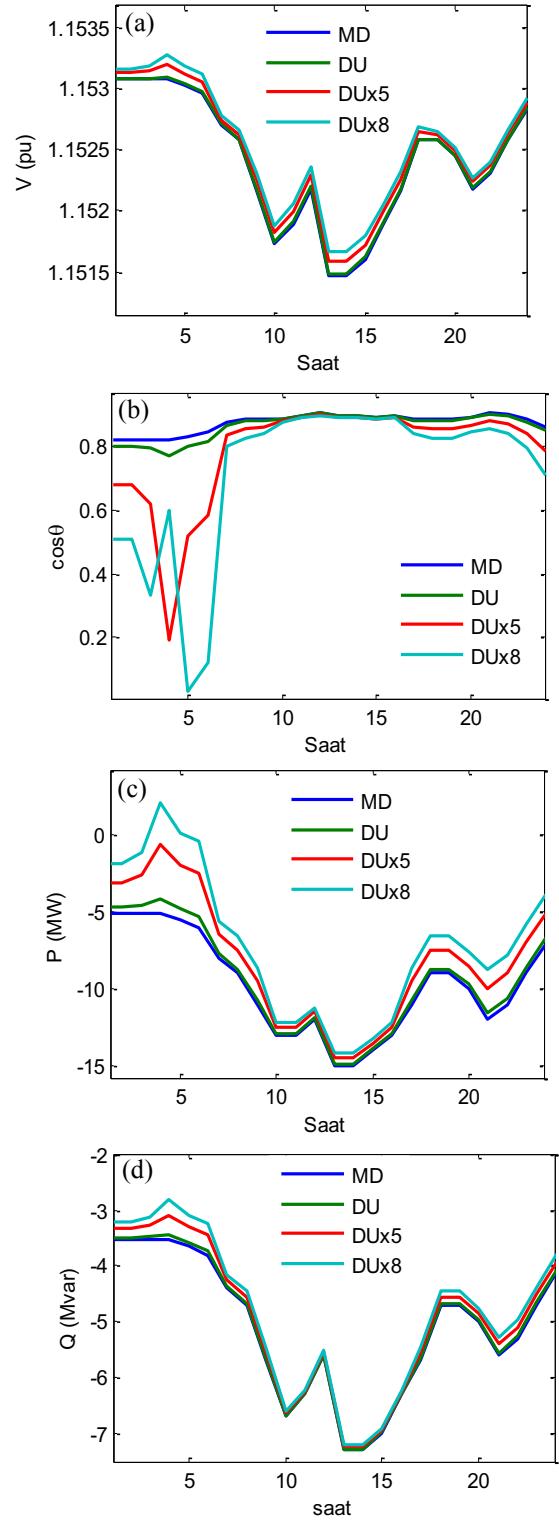


Şekil 6(a) IEEE 39-bus güç sisteminin MD, DU ve DU çeşitli enerji durum senaryoları için yapılan 24-saatlik yük akışı analizinde elde edilen günlük gerilim değişkenlikleri (b) güç faktörü değişkenliklerinin karşılaştırması

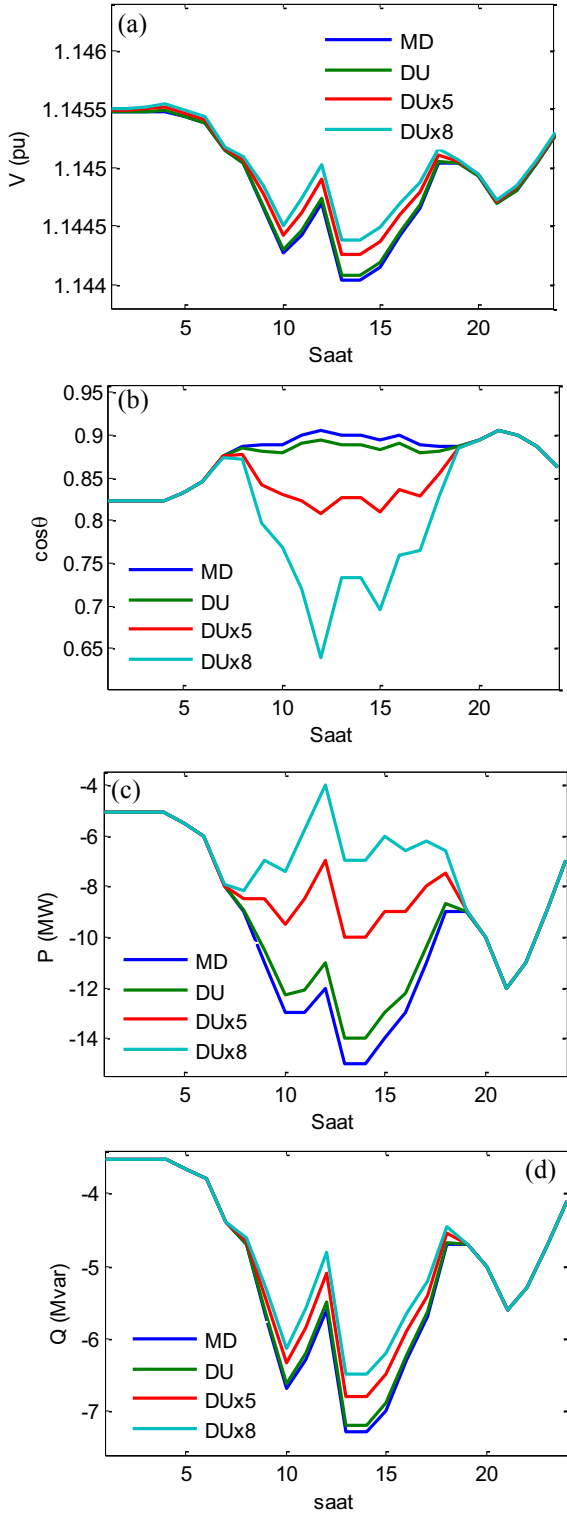
Bara-27'de ise hem sanayi tüketim modeli (P_{L1}, Q_{L1}) hem de hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden iki dinamik yük bağlıdır. Ayrıca bu barada rüzgar üretim modeline (G_{P2}, G_{Q2}) sahip kaynak bağlanarak, yenilenebilir enerjiden faydalanılmıştır. Şekil 8(c) görüldüğü üzere rüzgar enerji üretiminin tepe değerlerine ulaştığı 4:00-7:00 saatleri arasında, orta ve yüksek rüzgar gücü üretim koşullarında (DUx5 ve DUx8) güç faktöründe sert düşüşler görülmüştür. Ayrıca, bu zaman diliminde, DUx8 senaryosunda sağlanan yüksek rüzgar enerji üretimi, bu baradaki lokal tüketimin tamamını karşılayabilmiş, diğer bir ifade ile Bara-27'yi bu saatler arasında kendi kendine yetebilir duruma (Islanded Operation) gelmiştir. Bu saatler arasında DUx8 senaryosunda görülen pozitif güç değerleri, üretim baralarından güç çekmeye ihtiyaç duymadan lokal talebin karşılanabildiğini ve hatta bu baranın üretici konuma gelebildiğini göstermiştir. Ancak bu saatlerdeki güç faktöründe görülen sert değişimin kompanze edilmesine dönük tedbirlerin önceden alınması, Bara-27'de enerji dağıtımı ve tüketimini daha sağlıklı ve güvenilir kılacaktır.



Şekil 7. Bara-15 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri



Şekil 8. Bara-27 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri



Şekil 9. Bara-28 için hesaplanan 24-saatlik gerilim seviyeleri (a), güç faktörleri (b), aktif ve reaktif güç (c)-(d) profilleri

Bara-28'de ise hem sanayi tüketim modeli (P_{L1}, Q_{L1}) hem de hane tüketim modelini (P_{L2}, Q_{L2}) temsil eden yükler bağlıdır. Ayrıca bu barada güneş üretim modeline (G_{P2}, G_{Q2}) sahip kaynak bağlanarak, yenilenebilir enerjiden faydalanılmıştır. Yenilenebilir kaynaklar gerilim seviyelerinde dikkate değer değişime neden olmalarına rağmen yüksek üretim gücünde, artan reaktif güç üretimi sonucu güç faktöründe düşümlere neden olduğu analiz sonuçlarında görülmüştür. Şekil 9(b) de saat 9:00-16:00 arasında güneş enerjiden yüksek güç üretim koşullarında (DUx8), güç faktöründe düşüş açıkça görülmektedir. Ancak, düşük üretim koşullarında (DU) bu etkinin önemsenmeyecek derecede zayıf kaldığı görülmektedir. Bu saatlerde bu baralarda güç-faktörü kararlılığına dönük tekniklerin uygulanması, güç kalitesinin korunması açısından faydalı olacaktır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, süreksiz dağıtık üretim ve değişken güç talep durumları altında gün içi dinamik yük akış analizleri gerçekleştirilmiş ve baraların elektriksel parametrelerinin saatlik bazda değişimi hesaplanmıştır. Böylece, üretim süreksizliği gösteren kaynaklardan teşkil edilen dağıtık üretimin, gün içi değişen güç talepleri karşısında baraların gerilim ve güç faktörleri kararlılığına etkileri analiz edilebilmiştir.

Bu analizlerde, yenilenebilir dağıtık kaynakların gerilim seviyesi kararlılığına ciddi bir olumsuz etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni, bütün sistemde enerji dengesinin (Energy Balance) sağlanmasıdır. Enerji dengesi, kayıplar dahil olmak üzere sistemde tüketilen gücün, jeneratörlerden çekilen güce eşit olması halidir. Baraya eklenen dağıtık yenilenebilir kaynak, bu enerji dengesi nedeni ile sadece bu baraya diğer kaynak baralarından akan gücü azaltmıştır. Böylece, bara gerilimi seviyesinin korunabilmesi sağlanabilmiştir. Ancak, lokal yenilenebilir kaynak, tüketimin önemli bir kısmını karşıladığı durumda, kendi aktif ve reaktif güç karakteri nedeni ile bağlı olduğu baranın toplam aktif ve reaktif bara gücünü etkileyebilmekte ve bara güç faktöründe anlık değişimlere neden olabilmektedir. Süreksiz lokal kaynakların yüksek üretim sağladıkları zaman dilimlerinde güç faktör değişimini kompanse edecek tedbirlerin alınmış olması, bara güç faktörü kararlılığının korunması için yeterli olacaktır. Bu amaçla, yenilenebilir lokal kaynakların, yüksek üretim koşullarında reaktif güç üretimleri sınırlandırılarak güç faktör kararlılığı korunabilir.

Bu tür analiz yöntemleri, süreksiz dağıtık kaynaklara sahip güç sistemlerinin yönetimi sırasında çıkabilecek problemlerinin çözümünde büyük öneme sahip olacaktır. Ortalama üretim ve güç talep profilleri ile tanımlanan dinamik güç sistemi modellerinde, saatlik veya daha düşük örnekleme periyotlu yük akış analizleri ile yük akış dengesizliklerinin ve güç dağıtımındaki kalite bozukluklarının önceden tahmin edilmesi mümkün olabilecektir. Böylece önleyici tedbirleri içeren 24-saatlik güç yönetim planlamaları daha güvenilir olarak yapılabilecektir.

5. Kaynaklar

- [1] Pecas Lopes JA, Hatziaargyriou N, Mutale J, Djapic P, Jenkins N., "Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities", *Electric Power Systems Research*, vol:77, pp.1189-1203, 2007.
- [2] W. F. Tinney and C. E. Hart, "Power Flow Solution by Newton's Method", *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol.86, pp.1449-1460, Nov. 1967.
- [3] R. D. Zimmerman and H. D. Chiang, "Fast Decoupled Power Flow for Unbalanced Radial Distribution Systems", *1995 IEEE PES Winter Meeting*, New York, pp. 95, 1995.
- [4] B. Stott and O. Alsag, "Fast Decoupled Load Flow", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 93, pp. 859-869, June 1974.
- [5] Selva Moorthy, Majid Al-Dabbagh and Michael Vawser, "Improved Phase-Cordinate Gauss-Seidel Load Flow Algorithm", *Electric Power System Research*, vol. 34, pp. 91-95, Aug. 1995.
- [6] Zhang, W. and Liu, Y., "Reactive Power Optimization Based on PSO in a Partical Power System", *Power Engineering Society General Meeting, 2004 IEEE.*, vol. 1, pp. 239-243, 6-10 June 2004.
- [7] Vlachogiannis J. G., "Fuzzy Logic Application in Load Flow Studies", *IEE Proc. Generation, Transmission and Distribution*, vol.148, pp. 34-40, 2001.
- [8] R. Storn and K. Price, "Differential Evolution-a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces", *Journal of Global Optimization*, vol.11, pp. 341-359, 1997.
- [9] Li, Z., Shi, J. and Liu, Y., "Distributed Reactive Power Optimization and Programming for Area Power System", *International Conference on Power System Technology*, vol.2, 21-24 Nov. 2004, pp.1447-1450.
- [10] Wei, H., Cong, Z., Jingyan, Y., Jianhua, Z., Zifa, L., Zhilian, W. and Dongli, P., "Using Bacterial Chemotaxis Method for Reactive Power Optimization", *Transmission and Distribution Conference and Exposition*, 21-24 April 2008, pp. 1-7.
- [11] Shirmohammadi D., Hong H.W., Semlyen A. ve Luo G.X., "Compensation-Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, pp. 753-762, Feb. 1988.
- [12] Cheng Carol S. ve Shirmohammadi D., "Three-phase Power Flow Method for Realtime Distribution System Analysis", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.10, pp. 671-679, Feb. 1995.
- [13] Albert M, Vincent B, Maurice GCB, Johann LH, Gerard JMS., "Domestic energy management methodology for optimizing efficiency in Smart Grids.", *IEEE Bucharest PowerTech*, pp:1-7, 2009.
- [14] Ayompe LM, Duffy A, McCormack SJ, Conlon M, "Validated real-time energy models for small-scale grid-connected PV-systems.", *Energy*, vol:35:40, pp.86-91., 2010.
- [15] Prasad AR, Natarajan E., "Optimization of integrated photovoltaic-wind power generation systems with battery storage", *Energy*, vol:31:19, pp.43-54, 2006.
- [16] Lund H. "Large-scale integration of wind power into different energy systems.", *Energy*, vol:30:24, pp.02-12, 2005.
- [17] Bayod-Rujula RA., "Future development of the electricity systems with distributed generation.", *Energy*, vol:34:3, pp.77-83. 2009.
- [18] Cosentino V, Favuzza S, Graditi G, Ippolito MG, Massaro F, Sanseverino ER, Zizzo G., "Smart renewable generation for an islanded system. Technical and economic issues of future scenarios.", *Energy*, vol:39, pp.196-204, 2012.
- [19] Lund H, Andersen AN, Østergaard PA, Mathiesen BV, Connolly D. "From electricity smart grids to smart energy systems - A market operation based approach and understanding.", *Energy*, vol:42, pp.96-102, 2012.
- [20] Alagöz BB, Kaygusuz A, Karabiber A. "A User-Mode Distributed Energy Management Architecture for Smart Grid Applications", *Energy*, vol: 44, pp 167-177, 2012.
- [21] Amjad AM, Alireza S, Taher N, Mohammad RAP., "Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source". *Energy*, vol;36:6, pp.490-507., 2011.
- [22] Saadat, H., *Power Systems Analysis*, McGraw Hill, Boston, 1999.
- [23] Abacı K. , Yalçın M. A. , Uyarlıoğlu Y., "Güç Sistemlerinde Farklı Salınım Barası Seçiminin Gerilim Kararlılığı Açısından İncelenmesi", *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 8-12 Aralık 2004.



Elektrikli Arabalarda Kullanılan Li-ion Akülerin Tek Fazdan Hızlı ve Verimli Şarjı için Güç Faktörü Düzeltmeli Yükselticilerin Karşılaştırması

Comparison of Single Phase Power Factor Correction Boost Converters for Fast and Efficient Charge of Li-ion Batteries Used in Electrical Cars

Burak Akın

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
bakin@yildiz.edu.tr

Özet

Fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenerek olması ve atmosfere CO₂ salması nedeniyle yeni enerji kaynaklarının arayışı içerisinde girilmiştir. Temiz bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisinin motorlu taşıtlarda kullanılması, Li-ion aküler ile mümkündür. Li-ion akülerin şarjında kullanılacak AC-DC dönüştürücüler literatürde sıkça yer almaktadır [1-13]. Bunu gerçekleştirmek için güç faktörü düzeltmeli (PFC), geleneksel, köprüsüz ve dönüşümlü gerilim yükseltici devrelerinin simülasyonları yapılmıştır. 100 kHz anahtarlama frekansında ve 3 kW çıkış gücünde çalıştırılarak simülasyonları yapılan dönüştürücüler, güç faktörü (PF), toplam akım harmonik bozulma (THDi) ve verim açısından karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre geleneksel yükseltici % 97.8 verim ve % 4.88 THDi değerlerine, köprüsüz yükseltici % 98.2 verim ve % 5.05 THDi değerlerine, dönüşümlü yükseltici ise % 98 verim ve %1.93 THDi değerlerine sahiptir. Tüm dönüştürücüler 0.99 güç faktörü değerini sağlasa da, köprüsüz yükseltici THDi değeri, EN61000-3-2 standardı olan, % 5'in üzerinde bulunduğundan, li-ion akülerin şarjı için, dönüşümlü yükseltici daha iyi performans göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Dönüşümlü PFC, köprüsüz PFC, Li-ion.

Abstract

New energy sources have been searched because of depletion of fossil fuels in near future and to reduce the CO₂ emissions to the atmosphere. It is possible to use clean energy source of electricity in electrical vehicles by li-ion batteries. There are many AC-DC converters in the literature to charge Li-ion batteries [1-13]. For this reason, conventional PFC, bridgeless PFC and interleaved PFC boost converters are simulated. Simulations are run at 3 kW output power with 100 kHz switching frequency and they are compared with power factor (PF), total current harmonic distortion (THDi) and efficiency. According to the simulation results conventional boost converter has 97.8 % efficiency and 4.88 % THDi values, bridgeless boost converter has 98.2 % efficiency and 5.05 % THDi values, interleaved boost converter has 98 % efficiency and 1.93% THDi values. Although all converters have greater than 0.99 power factor, bridgeless boost converter THDi

value is above the EN 61000-3-2 standards which is 5%, so for li-ion battery charging, interleaved boost topology has better performance.

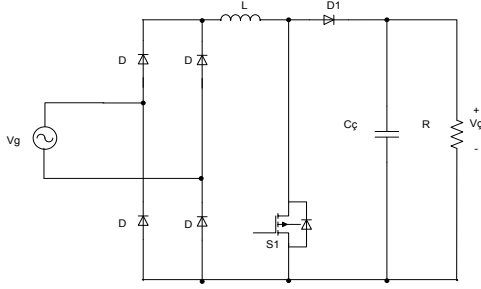
Keywords: Interleaved PFC, Bridgeless PFC, Li-ion.

1. Giriş

Günümüzde pahalı fosil kaynaklı yakıtları kullanan araçların atmosfere karbondioksit (CO₂) salması ve yakın bir gelecekte bu yakıtların tükenerek olması bilinen bir gerçektir. Bu sebeple alternatif enerji kaynaklarının motorlu araçlarda kullanılması için bir fırsat doğmuş ve elektrikli araçların yeniden üretilmesi planlanmıştır. Elektrikli araçların seri olarak üretilmesine henüz yeni başlanılmasına karşın, yakın bir gelecekte fosil yakıtların tükenerek olması ve CO₂ salınım etkisini azaltmak için oldukça rağbet göreceği düşünülmektedir.

Şu anki teknoloji ile elektrikli araçların enerji kaynağı olan lityum-iyon (li-ion) akülerle yapılacak mesafe 150 km civarında olsa da, şehir içi kullanımı için çok ideal olup şehir merkezlerindeki CO₂ salınımını da ciddi oranda azaltacağı düşünülmektedir. Ayrıca uygulanacak düşük vergi oranı ile toplumun bu yönde teşvik edileceği görüşü yaygındır.

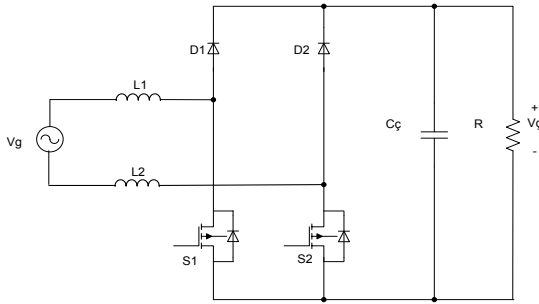
Li-ion akülerin şarjında kullanılacak alternatif akımdan doğru akıma (AC-DC) dönüştürme yapan geleneksel yükseltici topolojisi, Şekil 1'de gösterilmiştir. Geleneksel yükselticilerin verim, güç faktörü ve THDi değerlerini geliştirmek üzere köprüsüz ve dönüşümlü yükseltici topolojileri geliştirilmiştir. Literatürde yeni geliştirilmiş yükseltici topolojileri bulunmakla birlikte [13], bu makede 3 temel PFC yükseltici incelenmiş ve performansları analiz edilerek sonuçlar ortaya konulmuştur. Diyot köprüsü arkasına yerleştirilen gerilim yükseltici devre, sabit çıkış gerilimini sağlarken aynı zamanda şebekeden de sinüzoidal bir akım çekmektedir. Çıkış gerilimi, giriş akımı ve giriş geriliminden üretilen referans akıma göre darbe genişlik modülasyonuna (PWM) göre kontrol edilen devre tek aşamalıdır.



Şekil 1: Geleneksel yükseltici.

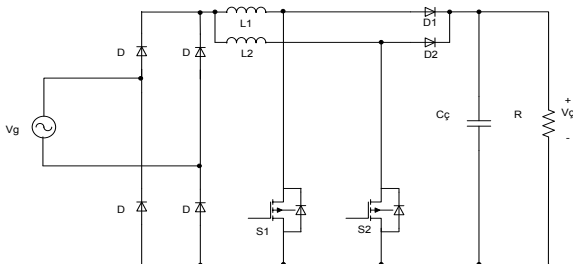
Şekil 2’de gösterilen köprüsüz yükselticilerin girişinde köprü diyotları olmadığından, geleneksel yükselticilere göre verimi daha yüksektir ve daha az elamana ihtiyaç duyarlar. Ancak bu dönüştürücülerin toplam akım harmonik bozulma (THDi) değerleri ve elektromanyetik girişim (EMI) seviyeleri geleneksel yükselticilere göre daha yüksektir. Literatürdeki kaynakların neredeyse tamamı 1 kW’dan küçük deneysel amaçlı tasarlanmış devrelerdir [1, 10].

Köprüsüz yükselticinin kontrolü, her sıfır geçişinde ilgili anahtar giriş akım ve gerilimi ile çıkış gerilimine bağlı olarak kontrol edilir. Hem birim PFC değerine hem de düşük THDi’ye ulaşmak için kontrolün hızlı ve doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Çıkış gücü arttıkça geleneksel yükselticiye göre verimi de artmaktadır.



Şekil 2: Köprüsüz yükseltici.

Şekil 3’de gösterilen dönüştümlü yükselticiler, yüksek güçte geleneksel yükselticilerin güç dağılımı ve akım dalgalılığını azaltmak için geliştirilmiştir. Girişinde diyot köprüsü bulunmakla birlikte, doğrultucu çıkışında 180° dönüştümlü çalışan iki adet yükseltici devresi bulunmaktadır. Eleman sayısında artış ve karmaşık kontrolüne rağmen, dönüştümlü yükselticiler düşük EMI ve akım dalgalılık oranlarına sahiptir. Verim değerleri de geleneksel yükselticilere göre daha yüksektir.



Şekil 3: Dönüştümlü yükseltici.

Bu çalışmadaki amaç, geleneksel, köprüsüz ve dönüştümlü PFC yükseltici devrelerinin aynı şartlar altında performanslarının karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma yapılırken, dönüştürücülerin tek fazdan beslenmesi, 100 kHz anahtarlama frekansında 3 kW çıkış gücünü ve 400V regüleli çıkış gerilimini sağlaması, % 5’in altında THDi değerlerine sahip olması, verimin % 97’nin üzerinde olması ve güç faktörünün 0.99’dan büyük olması şartları aranmaktadır.

Tüm dönüştürücülerin tek aşamada regüleli çıkış gerilimini ve giriş sinüzoidal akımını sağlaması için, referans akımın 100 kHz toplam anahtarlama frekansında PWM kontrolü ile çalışması amaçlanmıştır.

2. Temel Büyüklüklerin Hesaplanması

Yükseltici devrelerdeki en kritik büyüklük sürekli (CCM) veya kesintili akım modunda (DCM) çalışan yükseltici endüktansın hesabıdır. Elektrikli arabalar için üretilen li-ion aküler 400V giriş gerilimli ve yaklaşık 24 kWh kapasitesinde olduğundan, hızlı ve güvenilir bir şarj için yüksek güç gerekmektedir. Bu makalede li-ion akü şarjına uygun dönüştürücüler 3 kW gücünde çalışacağından, sürekli akım modu tercih edilmiştir.

Yükseltici endüktans ve çıkış kondansatör değerlerini hesaplamak için aşağıdaki formüllerden yararlanılır. Sırasıyla I_g ve V_g şebeke giriş akım ve gerilimini, P_g ve P_c giriş ve çıkış gücünü, η_{min} ve PF tahmin edilen minimum verim ve güç faktörünü, λ bağıl iletimde kalma oranını, ΔI_L akım dalgalanma oranını f_{sw} anahtarlama frekansını, L yükseltici endüktans değerini, V_c çıkış gerilimini, Δt çıkış kondansatörünün yükü besleme süresini ve C_c çıkış kondansatör değerini ifade eder.

Maksimum giriş gücü,

$$P_{g(max)} = \frac{P_{c(max)}}{\eta_{min}} \quad (1)$$

Maksimum giriş akımı,

$$I_{g(max)} = \frac{P_{c(max)}}{\eta_{min} (V_{g(eff)(min)}) PF} \quad (2)$$

Giriş akımının maksimum tepe değeri,

$$I_{g(tepe)max} = \frac{\sqrt{2} \cdot P_{c(max)}}{\eta_{min} (V_{g(eff)(min)})} \quad (3)$$

Giriş akımının maksimum ortalama değeri,

$$I_{g(ort)max} = \frac{2 \cdot I_{g(tepe)max}}{\pi} \quad (4)$$

Giriş geriliminin minimum tepe değeri,

$$V_{g(tepe)min} = \sqrt{2} \cdot V_{g(eff)(min)} \quad (5)$$

Bağıl iletim süresi,

$$\lambda = \frac{V_c - V_{g(tepe)(min)}}{V_c} \quad (6)$$

İzin verilen akım dalgalanma miktarı % I_L ise,

$$\Delta I_L = \%I_L \cdot I_{g(tepe)max} \quad (7)$$

Akımının maksimum tepe değeri,

$$I_{L(tepe)max} = I_{g(tepe)max} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (8)$$

Endüktans değeri,

$$L = \frac{V_{g(\text{tepe}(\text{min}))} \lambda}{f_{sw} \cdot \Delta I_L} \quad (9)$$

Çıkış kondansatör değeri,

$$C_c = 1.1 \left(\frac{2 \cdot P_c \cdot \Delta t}{V_c^2 - V_{g(\text{tepe}(\text{min}))}^2} \right) \quad (10)$$

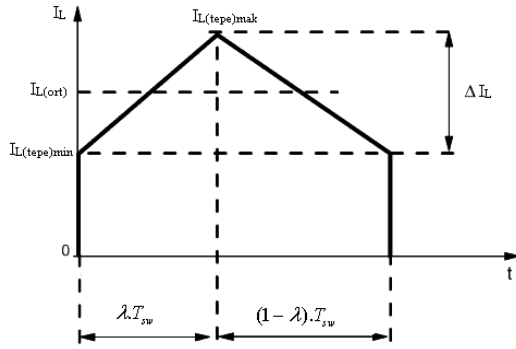
formüllerinden yararlanılarak kolayca bulunabilir. Bu hesaplamalardan sonra güç faktörü değeri,

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T v_g(t) \cdot i_g(t) \cdot dt}{V_{g(\text{eff})} \cdot I_{g(\text{eff})}} \quad (11)$$

veya,

$$PF = \frac{\cos \theta}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (12)$$

formüllerinden hesaplanarak bulunabilir. CCM çalışan geleneksel yükselticinin endüktans akımındaki değişim Şekil 4'de bir anahtarlama periyodu için gösterilmiştir.



Şekil 4: CCM çalışmada endüktans akımının değişimi.

3. Simülasyon Parametrelerinin Seçimi

Anahtarlama frekansı (f_{sw}) yükselticilerin çalışma frekansından (f_c) çok çok büyük olduğundan ($f_{sw} \gg f_c$) bir anahtarlama periyodunda, temel büyüklüklerin değişmediği kabul edilmiştir. Buna göre tüm devre parametreleri yukarıda verilen (1)-(12) bağıntılarına göre, 100 kHz toplam anahtarlama frekansında, 3 kW'lık çıkış gücü için hesaplanarak Tablo 1'de gösterilmiştir. Dönüşümlü yükseltici devresinde anahtarların her biri 50 kHz anahtarlama frekansında çalışmakla birlikte devrenin toplam anahtarlama frekansı yine 100 kHz olmaktadır.

Tablo 1: Simülasyon Parametreleri

Yükseltici Tipi	Geleneksel Yükseltici	Köprüsüz Yükseltici	Dönüşümlü Yükseltici
V_g	220 ± %5	220 ± %5	220 ± %5
V_c	400 ± %5	400 ± %5	400 ± %5
P_c	3000 W	3000 W	3000 W
f_{sw}	100 kHz	100 kHz	50 kHz
C_c	3300 µF	3300 µF	3300 µF
$L (L1+L2)$	270 µH	270 µH	270 µH

Yükselticilerin genel karşılaştırması Tablo 2'de gösterilmiş olup, güç değeri, EMI gürültü seviyesi, çıkış dalgahı, giriş dalgahı, manyetik boyut ve verim açısından incelenmiştir [8].

Tablo 2: Yükselticilerin Genel Karşılaştırması

Yükseltici Tipi	Geleneksel Yükseltici	Köprüsüz Yükseltici	Dönüşümlü Yükseltici
Güç	< 1000 W	< 2000 W	< 3000
EMI / Gürültü	Normal	Kötü	İyi
Çıkış Gerilim Dalgalanması	Yüksek	Yüksek	Düşük
Giriş Akım Dalgalanması	Yüksek	Yüksek	Düşük
Manyetik Büyüklük	Büyük	Orta	Küçük
Verim	Kötü	Normal	Normal

Tablo 3'de yükselticilerin karşılaştırmalı analizi gösterilmiş olup, eleman sayıları ve maliyet açısından incelenmiştir.

Tablo 3: Yükselticilerin karşılaştırmalı analizi

Yükseltici Tipi	Geleneksel Yükseltici	Köprüsüz Yükseltici	Dönüşümlü Yükseltici
Ana Anahtar Sayısı	1	2	2
Hızlı Diyot Sayısı	1	2	2
Doğrultucu Diyot Sayısı	4	0	4
Endüktans Sayısı	1	2	2
Çıkış Kondansatörü	1	1	1
Toplam Eleman Sayısı	8	7	11
Maliyet	Düşük	Orta	Yüksek

4. Kontrol Yöntemi

Yükseltici devrelerin kontrol yöntemi olarak giriş akımının kolay filtrelenebilmesi ve düşük harmonikli düzgün bir sinüzoidal akım çekebilmesi için sabit anahtarlama PWM tercih edilmiştir. 100 kHz anahtarlama frekansında çalıştırılan yükselticiler, tek aşamalı kontrol ile şebekeden sinüzoidal bir akım çekerken, aynı zamanda regüleli DC çıkış gerilimini de kontrol eder. Bu kontrolü sağlamak için çıkış gerilimi, giriş gerilimi ve akımından faydalanılır.

Çıkış gücüne bağlı olarak şebekeden çekilecek sinüzoidal akım (1)-(12) formülleri ile hesaplanır. Oluşturulan kontrol sistemi referans akım üzerinde anahtarlama yaparak belli bir bantta bu akım ortalamasını sağlar. Geleneksel yükseltici tek bir anahtar ile tüm güç akışı kontrol edilirken. Köprüsüz ve dönüşümlü yükselticilerde 2 anahtar ile bu güç akışı sağlanır.

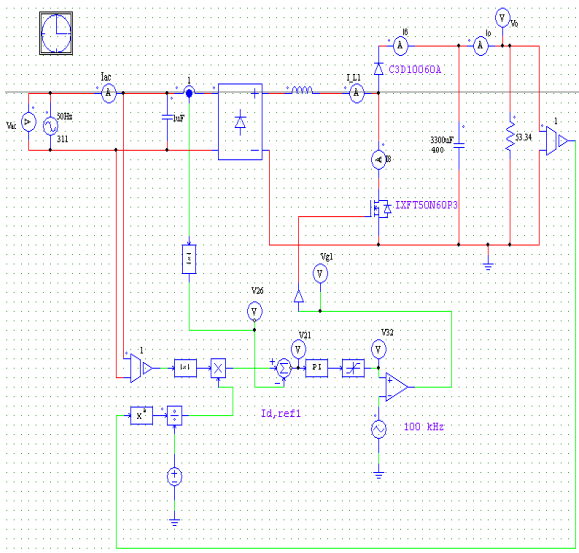
Köprüsüz yükselticide bulunan 1. anahtar pozitif yarım dalgayı, 2. anahtar negatif yarım dalgayı kontrol eder. Dönüşümlü yükseltici de ise 1. ve 2. anahtarlar 180° faz farkı ile sistemi kontrol eder. Bu kontrol ile girişten sinüzoidal bir akım çekilirken, çıkış güç akışı da kontrol edilmiş olur.

5. Geleneksel PFC'li Yükseltici Simülasyonu

Geleneksel PFC'li yükselticinin kontrol ve ana akım devresi Şekil 5'de gösterilmiştir. Ana akım devresi girişinde köprü

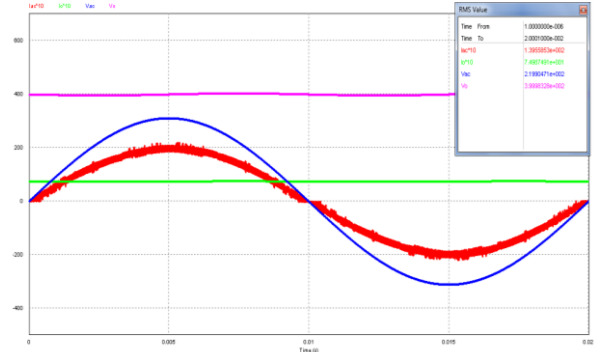
doğrultucu bulunmaktadır ve kontrol, giriş akım ve gerilimi ile çıkış geriliminin uygun bir algoritma ile kontrolü ile sağlanmaktadır.

Ana anahtar olarak 3 kW çıkış gücüne uygun 100 kHz'de çalışabilecek IXFT50N60P3 mosfeti seçilmiş olup simülasyon sonuçlarının gerçeğe uygun olması için eşdeğer referans gerilim ve direnç değerleri simülasyona eklenmiştir. Yine aynı şekilde yükseltici hızlı diyotu da gerçeğe uygun olarak C3D10060A hızlı silikon karpit (SİC) diyotu olarak simülasyona eklenmiştir. SİC diyotları, ters toparlanma süreleri ve akım değerleri ile sistemin toplam verim ve performansını arttırdığından tercih edilmiştir. Endüktans ve çıkış kondansatörü değerleri giriş geriliminin 220 V efektif değeri için hesaplanmış ve CCM çalışmaya uygun olarak Tablo 1'de gösterilen simülasyon parametrelerine göre devreye eklenmiştir. Başlangıç koşullarından sadece C_c çıkış kondansatörüne, ilk periyotta düzgün çıkış verebilmesi için, 400 V referans değer verilmiştir.



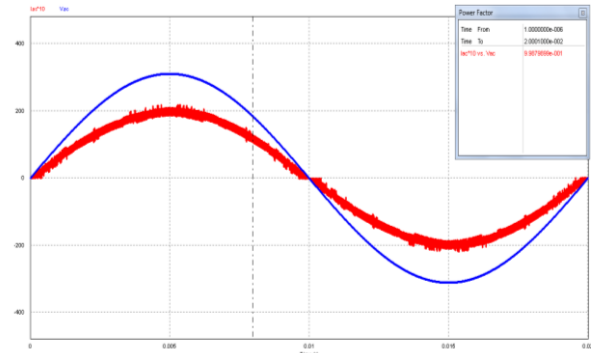
Şekil 5: Geleneksel PFC'li yükseltici simülasyon devresi.

Giriş akım ve gerilimi ile çıkış akım ve gerilimi Şekil 6'da gösterilmiş olup, akım örneklerinin daha düzgün görülebilmesi için 10 kez büyük ölçekli gösterilmiştir. Giriş ve çıkış değişkenlerinin efektif değerleri sağdaki küçük ekranda belirtilmiştir. Buna göre yaklaşık, giriş gerilimi 220 V, çıkış gerilimi 400 V, giriş akımı 14 A, çıkış akımı 7,5 A olarak ölçülmüştür. Giriş ve çıkış güçlerinden verim ölçümü yapılırsa, giriş gücü 3065 W ve çıkış gücü 2999 W olduğundan verim % 97,8 olarak hesaplanmıştır.



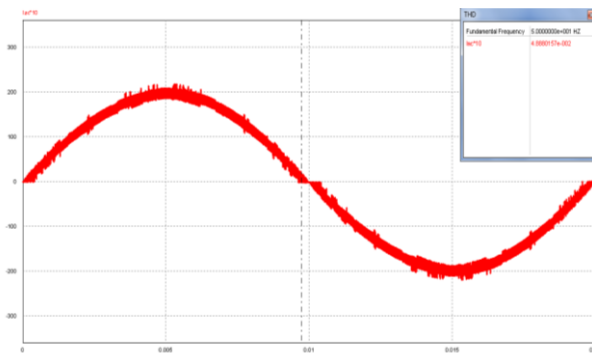
Şekil 6: Giriş ve çıkış akım-gerilim dalga şekilleri.

Şekil 7'de gösterilen giriş akım ve gerilimine bağlı güç faktörü değeri incelenirse, güç faktörü değerinin PF=0,998 olduğu görülmür.



Şekil 7: Giriş akım ve gerilimine bağlı güç faktörü değeri.

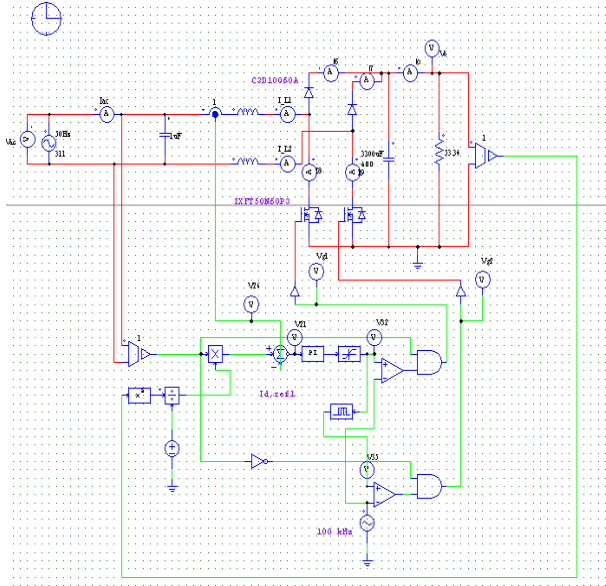
Tek fazlı şebekeden çekilen akımın değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir. CCM modunda çalışan geleneksel yükselticinin şebekeden çektiği akımın THDi değeri % 4,88 dir. EN61000-3-2 harmonik standartlarına göre % 5 olan sınır değerinin altında ve verimi % 97,8 ile arzulanan verim değerinin üzerindedir. Güç faktörü değeri de birim güç faktörü değerini sağlamaktadır.

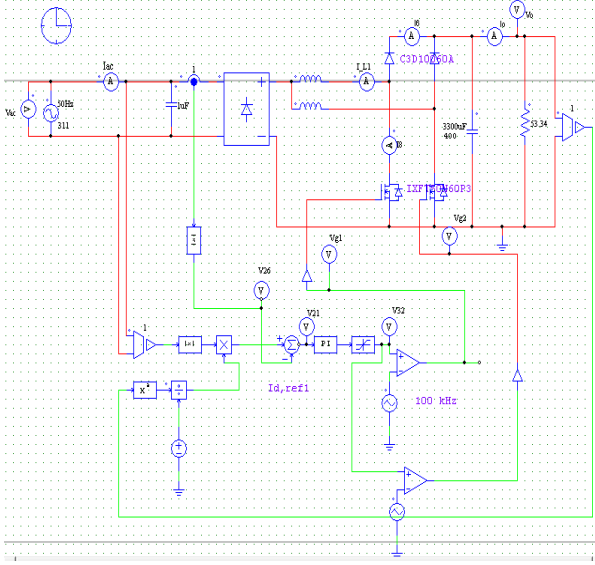


Şekil 8: Giriş akımı THDi değeri.

6. Köprüsüz PFC'li Yükseltici Simülasyonu

Köprüsüz PFC'li yükselticinin kontrol ve ana akım devresi Şekil 9'da gösterilmiştir. Ana akım devresi girişinde köprü doğrultucu bulunmamaktadır ve kontrol, giriş akım ve gerilimi ile çıkış geriliminin uygun bir algoritma ile kontrolü ile sağlanmaktadır.

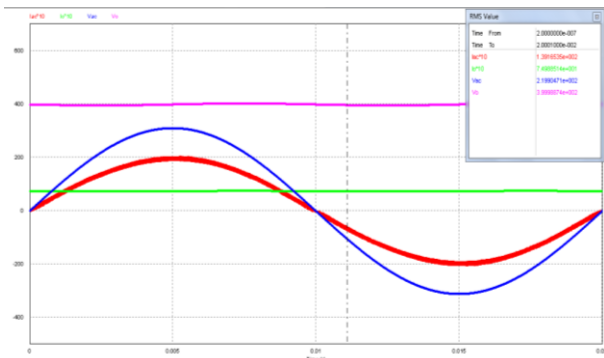




Şekil 13: Dönüştürümlü PFC'li yükseltici ana akım ve kontrol devresi.

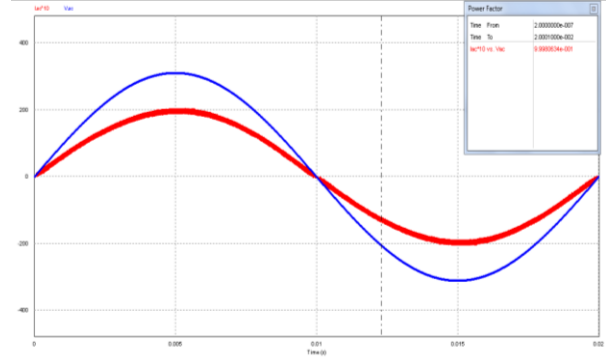
Giriş akım ve gerilimi ile çıkış akım ve gerilimi Şekil 14'de gösterilmiş olup, akım örneklerinin daha düzgün görülebilmesi için 10 kez büyük ölçekli gösterilmiştir. Giriş ve çıkış değişkenlerinin efektif değerleri sağdaki küçük ekranda belirtilmiştir. Buna göre giriş gerilimi 220 V, çıkış gerilimi 400 V, giriş akımı 13,9 A, çıkış akımı 7,5 A olarak ölçülmüştür. Giriş ve çıkış güçlerinden verim ölçümü yapılırsa, giriş gücü 3060 W ve çıkış gücü 2999 W olduğundan verim % 98 olarak hesaplanmıştır.

Dönüştürümlü yükselticide anahtarlama frekansı her bir mosfet için 50 kHz, sistemin toplam anahtarlama frekansı ise 100 kHz dir.



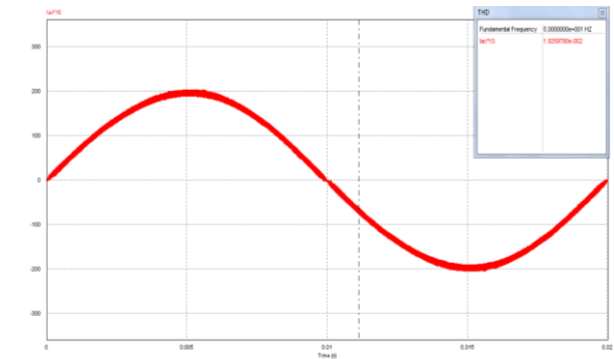
Şekil 14: Giriş ve çıkış akım-gerilim dalga şekilleri.

Şekil 15'de gösterilen giriş akım ve gerilimine bağlı güç faktörü değeri incelenirse, güç faktörü değerinin $PF=0,999$ olduğu görülür.



Şekil 15: Giriş akım ve gerilimine bağlı güç faktörü değeri.

Tek fazlı şebekeden çekilen akımın değişimi Şekil 16'da gösterilmiştir. CCM modunda çalışan dönüştürümlü yükselticinin şebekeden çektiği akımın THDi değeri % 1,93 olup, EN61000-3-2 harmonik standartlarına göre % 5 olan sınır değerinden oldukça altındadır. Dönüştürümlü yükselticinin verimi, girişinde diyot köprüsü bulunduğu için, % 98 ile arzulan verim değerinin üzerindedir. Güç faktörü değeri de birim güç faktörü değerini sağlamaktadır.



Şekil 16: Giriş akımının THDi değeri.

8. PFC'li Yükselticilerin Performansı

Geleneksel, köprüsüz ve dönüştürümlü PFC'li yükselticiler, 100 kHz toplam anahtarlama frekansında, 3 kW çıkış gücünde çalıştırılmış ve PF, THDi ve verim açısından değerlendirilmiştir. Buna göre Tablo 4'de güç faktörü, THDi ve verim açısından sonuçlar gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek verim köprüsüz yükselticide, en düşük THDi dönüştürümlü yükselticide ölçülmüştür. Tüm yükselticiler güç faktörü açısından birim güç faktörü değerine ulaşmıştır.

Tablo 4: Yükselticilerin performans karşılaştırması

Yükseltici Tipi	Geleneksel Yükseltici	Köprüsüz Yükseltici	Dönüştürümlü Yükseltici
PF	0.998	0.998	0.999
THDi (%)	4.88	5.05	1.93
Verim (%)	97.8	98.2	98

9. Sonuçlar

Bu makalede elektrikli arabalarda kullanılan Li-ion akülerin hızlı ve verimli şarjı için tercih edilebilecek temel yükseltici devrelerin simülasyonları yapılmış ve karşılaştırma sonuçları gösterilmiştir.

Geleneksel, köprüsüz ve dönüşümlü yükseltici devreleri, 3 kW çıkış gücünde ve 100 kHz anahtarlama frekansında çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, geleneksel yükseltici % 97.8 verim ile en düşük verim değerine sahipken, % 4.88 THDi değeri ile iki dönüştürücünün arasında yer almaktadır. Köprüsüz yükseltici % 98.2 ile en verimli sistem olmasına karşın, THDi değeri olarak, EN61000-3-2 harmonik standartlarına göre % 5 sınır olan, % 5.05 değerini almıştır. Dönüşümlü yükseltici % 98 verim değeri ile arada yer almasına karşın, % 1.93 THDi değeri ile en az harmonikli sistemdir. Güç faktörü açısından değerlendirildiğinde üç yükseltici de 0.99 değerine ulaşmıştır.

Bu yükseltici topolojileri arasında li-ion akü şarjına yönelik hızlı ve verimli bir sistem olarak dönüşümlü yükseltici daha iyi performans sergilemiştir.

10. KAYNAKLAR

- [1] Chakraborty, S.; Mohan, N.; , "A Comparative study of Various Single Stage PFC Converters in implementing Novel Converter Topology for Simultaneous charging and Individual Cell Balancing of Multiple Li-ion Batteries," *Telecommunications Conference*, 2005. INTELEC '05. Twenty-Seventh International , vol., no., pp.251-256, Sept. 2005
- [2] W. Huang, G. Moschopoulos, "A New Family of Zero Voltage Transition PWM Converters With Dual Active Auxiliary Circuits" *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 21, pp. 370-379, March 2006.
- [3] Muthuramalingam, A.; Madhivanan, R.; Kalpana, R.; , "Comparative study of high performance rectifiers," *Power Electronics, 2006. IICPE 2006. India International Conference on* , vol., no., pp.216-221, 19-21 Dec. 2006
- [4] Woo-Young Choi; Jung-Min Kwon; Eung-Ho Kim; Jong-Jae Lee; Bong-Hwan Kwon; , "Bridgeless Boost Rectifier With Low Conduction Losses and Reduced Diode Reverse-Recovery Problems," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* , vol.54, no.2, pp.769-780, April 2007
- [5] Huber, L.; Yungtaek Jang; Jovanovic, M.M.; , "Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers," *Power Electronics, IEEE Transactions on* , vol.23, no.3, pp.1381-1390, May 2008
- [6] Woo-Young Choi; Jung-Min Kwon; Bong-Hwan Kwon; , "An improved bridgeless PFC boost-doubler rectifier with high-efficiency," *Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE* , vol., no., pp.1309-1313, 15-19 June 2008
- [7] Tao Qi; Lei Xing; Jian Sun; , "Dual-Boost Single-Phase PFC Input Current Control Based on Output Current Sensing," *Power Electronics, IEEE Transactions on* , vol.24, no.11, pp.2523-2530, Nov. 2009
- [8] Beltrame, F.; Roggia, L.; Schuch, L.; Pinheiro, J.R.; , "A comparison of high power single-phase power factor correction pre-regulators" *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pp 625-629, May 2010
- [9] Etezadi-Amoli, M.; Choma, K.; Stefani, J.; , "Rapid-Charge Electric-Vehicle Stations," *Power Delivery, IEEE Transactions on* , vol.25, no.3, pp.1883-1887, July 2010
- [10] Musavi, F.; Eberle, W.; Dunford, W.G.; , "A high-performance single-phase AC-DC power factor corrected boost converter for plug in hybrid electric vehicle battery chargers," *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE* , vol., no., pp.3588-3595, 12-16 Sept. 2010
- [11] Musavi, F.; Eberle, W.; Dunford, W.G.; , "Efficiency evaluation of single-phase solutions for AC-DC PFC boost converters for plug-in-hybrid electric vehicle battery chargers," *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2010 IEEE* , vol., no., pp.1-6, 1-3 Sept. 2010
- [12] Akın, B.; Bodur, H.; , "A New Single-Phase Soft-Switching Power Factor Correction Converter," *Power Electronics, IEEE Transactions on* , vol.26, no.2, pp.436-443, Feb. 2011
- [13] Musavi, F.; Eberle, W.; Dunford, W.G.; , "A high-performance single-phase bridgeless interleaved PFC converter for for plug in hybrid electric vehicle battery chargers," *Industry Application, IEEE Transactions on* , vol.47, no.4, pp.1833-1843, Aug. 2011



Türkçe Metinlerin Sınıflandırılmasında Metin Temsil Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması

A Comparison of Text Representation Methods for Turkish Text Classification

M.Fatih AMASYALI¹, Sümeyra BALCI¹, Esra Nur VARLI¹, Emrah METE¹

¹Elektrik Elektronik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi

mfatih@ce.yildiz.edu.tr, sumeyrabalci@gmail.com, esranurvarli@gmail.com, emrahmete@gmail.com

Özet

Bir metnin sınıfına metnin hangi özelliklerine bakılarak karar verilebilir? Sınıflandırma probleminin türünün (metnin yazarını, yazarın cinsiyetini, yazarın ruh halini, metnin konusunu, metnin olumlu ya da olumsuz ifadeler içerdiğini tanıma) bu soruya verilecek cevaba etkisi nedir? Bu sorulara çeşitli cevaplar vererek, metin dosyalarının otomatik sınıflandırılması için uzun zamandır çalışmalar sürmektedir. Bu çalışmada çeşitli türdeki 6 adet Türkçe sınıflandırma veri kümesi üzerinde 17 adet özellik grubunun etkisi incelenmiştir. Çıkarılan özellik gruplarına örnek olarak; cümle, kelime, ek sayıları, n-gramlar, kelimeler, kelime grupları ve saklı anlam indeksi verilebilir. Türkçe için bugüne kadar yapılmış en kapsamlı karşılaştırma çalışması sunulmuştur. Sonuçlarda n-gramların genel olarak diğer temsil yöntemlerinden daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Doğal Dil İşleme, Metin Sınıflandırma, Metin Özellikleri, Metin Temsil Yöntemleri

Abstract

Which features are the most important for text classification tasks? How does the type of text classification problem (authorship attribution, gender identification, mood identification, topic identification, sentiment analysis) affect the answer of this question? By giving various answers to these questions, the automatic text classification studies are ongoing for a long time. In this study, 17 text representation methods are compared over 6 different Turkish text classification tasks. Frequencies of the words, stem words, word phrases, n-grams, tokens, and word clusters, Latent Semantic Indexing are examples of the extracted text features. To the best of our knowledge, the most comprehensive study for Turkish text classification is presented. In general, n-grams were produced more successful results than the other text representing methods.

Keywords: Natural Language Processing, Text Classification, Text Categorization, Text Features, Text Representation Methods

1. Giriş

Bir metnin yazarı, konusu, yazarının cinsiyeti, yazarının ruh hali otomatik olarak tahmin edilebilir mi? Bu soruya cevap arayan çalışmalar otomatik metin sınıflandırma adıyla anılmaktadır. Bu çalışmalarda önceden sınıfı belli metinlerin çeşitli özelliklerinin incelenmesiyle yeni gelen bir metnin hangi sınıfa ait olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bunun yapılabilmesi için metinlerin hangi özelliklerinin inceleneneğine diğer bir deyişle metinlerin nasıl temsil edileceğine de karar vermek gerekir. Bununla birlikte, sınıflandırma probleminin türünün (yazar, konu, cinsiyet vb.) temsil yöntemine etkisinin olup olmadığı da ayrı bir araştırma konusudur.

Literatürde çeşitli metin sınıflandırma problemleri için birçok başarılı çalışma yapılmıştır. Bunlara örnek olarak yazar tanıma [1, 2], metin konusunu belirleme [3, 4], e-posta sınıflandırma [5], metnin yazarının cinsiyetini belirleme [1] verilebilir. Bu çalışmalarda her problem türü için çeşitli metin temsil yöntemleri önerilmiştir. En çok kullanılan yöntemler; kelime / kelime grubu frekansları [3], ngram frekansları [5, 6], kelime kümeleme [3], saklı anlam indeksleme [7] ve fonksiyonel kelimelerdir [8].

Bununla birlikte literatürde farklı problem türleri için, metin temsil yöntemlerinin detaylı bir karşılaştırılması bulunmamaktadır. Bu çalışmada, bu boşluğu doldurmak amacıyla literatürdeki birçok yöntem ve kendi önerdiğimiz (çok boyutlu ölçekleme ile anlamsal uzay [9], sınıf bilgisine dayalı kelime kümeleme) yöntemler, çeşitli veri kümeleri üzerinde karşılaştırılmıştır.

Veri kümesi olarak yazıdan ruh hali tanıma, film yorumlarında yönelim tespiti, köşe yazarlarını tanıma, yazarın cinsiyetini tanıma, şiirin yazarını tanıma, haberin türünü tanıma olmak üzere toplam 6 metin sınıflandırma koleksiyonu üzerinde çalışılmıştır. 2. bölümde bu veri koleksiyonları tanıtılmıştır. 3. bölümde karşılaştırılan metin temsil yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. 4. bölümde deneysel sonuçlarda her bir veri koleksiyonu üzerinde hangi

metin temsil yönteminin (metin özellikleri) daha başarılı olduğu, genelde en başarılı yöntemler tartışılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. Veri Kümeleri

Bu bölümde farklı uygulama alanlarına ait çeşitli veri kümeleri tanıtılacaktır. Tablo 1’de çalışmada kullanılan veri kümeleri verilmiştir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan veri kümeleri

Veri kümesinin ismi	Sınıf say.	Top. örn. say.	Her bir sınıf. örn. say.	Ort. kelime say.	Ort. cümle say.	Rast. Başarı %
Ruh hali	4	157	38-40	247,1	28,1	25,48
Film yorumları	3	105	35	49,3	4,8	28,57
Köşe yazarı	18	630	35	398,5	45,3	5,56
Cinsiyet	2	105	50-55	377	54	52,38
Haberler	5	1150	230	204,8	17	20
Şiir	7	140	20	79,5	7,4	14,29

Tablo 1’in son sütunundaki rastgele başarı yüzdesi verilerin hepsinin en çok örneği olan sınıfa atandığında elde edilen doğru sınıflandırma yüzdesidir. Kullanılan veri kümelerine www.kemik.yildiz.edu.tr/?id=28 adresinden erişilebilir.

Veri kümelerinin her birinin nasıl oluşturulduğu ve sınıf bilgilerinin içerikleri aşağıda anlatılmıştır.

Ruh hali: Çeşitli blog sitelerinden toplanan ve elle blog yazarının ruh halinin etiketlenmesiyle oluşturulmuştur. 4 sınıf içermektedir. Sınıf etiketleri neşeli, hüzünlü, sınırlı, karışık şeklindedir.

Film Yorumları: Çeşitli sinema sitelerinden filmlere yapılmış yorumların toplanmasıyla ve beğeni yönleriyle etiketlenmesiyle oluşturulmuştur. 3 sınıf içermektedir. Sınıf etiketleri pozitif, negatif, tarafsız şeklindedir.

Köşe Yazarları: Çeşitli gazetelerin web sayfalarından 18 adet köşe yazarının 35’er köşe yazısının toplanmasıyla ve yazar isimleriyle etiketlenmesiyle oluşturulmuştur. Sınıf etiketleri yazarların isimleridir.

Cinsiyet: 5’er adet erkek ve kadın köşe yazarının 50-55’şer köşe yazısının toplanmasıyla ve yazarlarının cinsiyetleriyle etiketlenmesiyle oluşturulmuştur. Erkek ve kadın olmak üzere 2 sınıf etiketi içermektedir.

Haberler: Gazetelerin kategorilere ayrılmış haber sayfalarında 5 farklı konuda toplanmış 1150 haber içeren bir veri kümesidir. Sınıf etiketleri Ekonomi, Magazin, Sağlık, Siyasi, Spor şeklindedir.

Şiir: 7 şaire ait 20’şer şiirin toplanması ve şair adlarıyla etiketlenmesiyle oluşturulmuştur. Sınıf etiketleri şairlerin isimleridir.

3. Karşılaştırılan Metinlerin Temsil Yöntemleri

Bu bölümde literatürde sıklıkla kullanılan ve bizim önerdiğimiz metin temsil yöntemleri anlatılmaktadır.

3.1. Frekans Hesaplamalarında Kullanılan Metotlar

Bu bölümde anlatılacak olan Kelime Kökleri, Kelime Türleri, Ngramlar, Fonksiyonel Kelimeler, Kelime Ekleri, Kavram Genelleştirme özellik grupları için frekans hesaplamasında kullanılmak üzere TF, TFIDF, binary, log, normalize ve normalize2 olmak üzere 6 farklı metot kullanılmıştır [10]. i indisli özelliğin j indisli metnindeki TFIDF değeri Eşitlik 1’deki gibi hesaplanır.

$$TFIDF(i, j) = TF(i, j) \cdot \log \frac{|TR|}{|TR(i)|} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de $TF(i, j)$, i indisli özelliğin, j indisli metninde yer alma sayısıdır. Toplam metin sayısı TR ile, içinde en az bir kere i özelliği geçen metin sayısı $TR(i)$ ile gösterilmiştir. Örneğin i özelliği “gr” 2gramı ise, $TF(i, j)$, “gr” ifadesinin j metninde yer alma sayısı olacaktır. i özelliği “isim” kelime türü ise $TF(i, j)$; j metninde geçen isim türündeki kelime sayısı olacaktır.

Binary(i, j): i indisli özellik j indisli metin yer alıyorsa değeri 1, yer alıyorsa 0’dır.

Log(i, j): Eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$Log(i, j) = \log_{10}(TF(i, j) + 1) \quad (2)$$

Normalize1(i, j): $TF(i, j)$ ’leri, metnindeki toplam kelime sayısı ile normalize edilmesiyle Eşitlik 3’teki gibi hesaplanır.

$$N1(i, j) = \frac{TF(i, j)}{\left(\sum_j TF(i, j)^2 \right)^{1/2}} \quad (3)$$

Normalize2(i, j): $TF(i, j)$ ’leri, kelimenin toplam geçiş sayısı ile normalize edilmesiyle Eşitlik 4’teki gibi hesaplanır.

$$N2(i, j) = \frac{TF(i, j)}{\left(\sum_i TF(i, j)^2 \right)^{1/2}} \quad (4)$$

3.2. Sayılar Özellik Grubu

Metinleri içerdikleri noktalama işaretleri sayıları, kelime sayıları, cümle sayıları, devrik cümle sayıları, harf sayıları, ek sayıları, cümlelerdeki ortalama kelime ve harf sayıları, kelimelerdeki ortalama harf ve ek sayılarıyla ifade eden 19 adet özellikten oluşan özellik grubudur.

3.3. Kelime Kökleri

Metinlerin içerdikleri kelimelerle ifade edildikleri, literatürde en yaygın kullanılan özellik grubudur. Metinler tüm metinlerde en az bir kere geçen farklı kelime sayısı boyutlu bir uzayda ifade edilir. Türkçe gibi eklemeli

dillerde, kelimelerin kendilerini kullanmak farklı kelime sayısını çok fazla arttırmaktadır. Örneğin insan, insanlık, insanlığa, insanlığım kelimeleri farklı kelimeler olarak ele alınırsa metinlerin ifade edildikleri uzayın boyutu çok büyük olmaktadır.

Literatürde bu probleme çözüm olarak sadece kelime köklerinin kullanılması önerilmektedir [11]. Bu sayede hem aynı anlama işaret eden kelimelerin birleştirilmesi (böylelikle metinler arası benzerliğin daha iyi ifade edilmesi sağlanmakta), hem de özellik boyutunun azaltılmasıyla işlem karmaşıklığının azaltılması sağlanmaktadır. Kelimelerin köklerinin bulunması için Zemberek [12] kütüphanesi kullanılmıştır.

3.4. Kelime Türleri

Metinleri içerdikleri kelimelerin türlerinin (isim, sıfat, zamir, edat vb.) frekanslarıyla ifade eden özellik grubudur. Kelimelerin türlerinin bulunmasında Zemberek kullanılmıştır. Toplam 15 tane kelime türü vardır. Buna göre her metin içerdikleri isim, sıfat, vb. türündeki kelime sayılarıyla ifade edilmektedir.

3.5. Harf ve Kelime Ngramları

Metinlerin içerdikleri ngramlar ile ifade edildiği özellik grubudur. Ngramlar N boyutlu karakter ya da kelime çerçeveleridir. Örneğin “gitmek” metni için:

Harf 2 gramları: gi – it – tm – me – ek

Harf 3 gramları: git – itm – tme – mek şeklindedir.

Metinlere ait 2 ve 3 harf gramları, 2’li kelime ngramları çıkarılmıştır. Çok seyrek frekans matrisleri üretiyor olmaları sebebiyle, daha büyük pencere boyutuna sahip ngramlar kullanılmamıştır.

3.6. Fonksiyonel Kelimeler

Fonksiyonel kelimeler esasen tek başlarına anlamları olmayan, ancak yazarların üsluplarının belirlenmesinde önemli oldukları düşünülen bağlaç ve edat türündeki kelimelerdir [8] (ve, daha, gibi, de, için vb.). Metinler bu özellik grubunda, önceden belirlenmiş 620 fonksiyonel kelimeyle ifade edilmektedirler.

3.7. Kelime Ekleri

Metinlerin içerdikleri kelimelerin aldıkları eklerin türlerine göre ifade edildikleri özellik grubudur. Türkçe eklemeli bir dil olduğundan anlamın oluşmasında eklerin önemi büyüktür. Kelimelerin eklerinin belirlenmesinde Zemberek kullanılmıştır. Zemberek toplam 126 farklı ek türü çıkarmakta ve dolayısıyla metinler bu 126 ek türünü içermelerine göre sayısallaştırılmaktadırlar.

3.8. Kelime Kümeleme

Bu özellik grubunda, metinlerde geçen yakın anlamlı kelimeler birleştirilip tek bir küme, tek bir özellik haline getirilmektedir [3]. Bu sayede hem boyut sayısı azaltılmakta hem de benzer anlama sahip kelimeler tek bir kavram olarak kullanıldığından metinler arası ilişkilerde artmaktadır.

Örneğin hayvan kavramına ait kelimeler (at, kedi, deve vb.) aynı kümede yer alırlarsa, sadece “at” kavramını içeren ve sadece “kedi” kavramını içeren iki metin aynı özelliğe “hayvan” sahip olacaklardır. Bir kelime kümesinin bir metindeki frekansı, küme içindeki kelimelerin o metindeki geçiş sayılarının toplamıdır.

Kelime kümelerinin belirlenmesinde 4 kaynak kullanılmıştır: TF matrisi, TFIDF matrisi, Cooccurrence (birlikte geçme) matrisi ve sınıf bilgisi. TF ve TFIDF matrisi 3.1. bölümde, Cooccurrence (birlikte geçme) matrisi 3.9. bölümde, sınıf bilgisi 3.14. bölümde anlatılmıştır. Kelimelerin bu kaynaklar kullanılarak kümelenebilmesi için 3 algoritma kullanılmıştır.

1. Hiyerarşik Kümeleme: Her bir adımda birbirine en çok benzeyen iki kümenin birleştirildiği algoritmadır [13]. Başlangıçta her bir örnek ayrı bir kümeyi ifade eder. Kümelerin birbirine benzerliklerinin ölçülmesinde 3 yol izlenmektedir. A) En Yakın: Kümeler birbirine en yakın elemanları kadar yakındır. B) Ortalama: İki kümenin her bir elemanının diğer kümenin her bir elemanı ile arasındaki mesafelerin ortalaması ile yakınlık ölçülür. C) En uzak: Kümeler birbirine en uzak elemanları kadar yakındır.

2. K-means: Veri dağılımını en iyi temsil edebilecek küme merkezlerini bulunmaya çalışır [14]. Başlangıçta küme merkezleri rastgele atanır. Küme merkezlerinin kendi kümelerindeki elemanlara olan ortalama mesafesi iterasyonlar ilerledikçe azalır.

3. SOM: Bu algoritmada veri dağılımını en iyi temsil edebilecek küme merkezlerini bulunmaya çalışır. Küme merkezleri başlangıçta yine rastgele atanır. Buna ek olarak merkezler birbirlerine rastgele bağlanırlar. Her bir küme merkezinin güncellenmesinde ona bağlı olan diğer küme merkezleri de güncellenir. Bu sayede hem verileri ifade edecek küme merkezleri hem de verinin topolojisi bulunmaktadır [15].

3.9. Birlikte Geçme Matrisi

Birlikte geçme matrisi metinlerdeki farklı kelime sayısı boyutlu simetrik bir matristir. Matrisin i, j hücresinin değeri, i . kelime ile j . kelimenin eğitim metinlerinden kaçında birlikte geçtiğini ifade etmektedir. Birlikte geçme matrisi kelime kümelemede (Bölüm 3.8) ve anlamsal uzayda (Bölüm 3.12) kullanılmaktadır.

3.10. Kelime Filtreleme

Her metinde geçen kelimelerin ayırt ediciliği azdır. Buna karşın çok az metinde geçen kelimeler de gereksiz yere boyut sayısını arttırabilirler. Bu nedenlerle metinlerin ifadesinde kullanılan kelimeler, frekansa dayalı bir filtreden geçirilmişlerdir. Kelimeler belirlenen minimum ve maksimum geçiş sayılarına göre filtrelenmiştir.

3.11. Saklı Anlam İndeksleme

Bu yöntem, sınıf bilgisini kullanmadan metin-kelime matrisi (A) üzerinde Eşitlik 5’teki Tekil Değer Ayrıştırma (Singular Value Decomposition) işlemini yaparak metinlerin boyut sayısını azaltır [7].

$$A_{m \times n} = U_{m \times k} \cdot S_{k \times k} \cdot V_{n \times k}^T \quad (5)$$

Bu işlem sonunda S matrisinde, özvektörlerin özdeğerleri diagonalde büyükten küçüğe sıralanmış olur. Seçilen boyut (k) adedi işleme alınarak, A matrisi $m \times n$ 'lik bir matristen ($m \rightarrow$ metin sayısı, $n \rightarrow$ farklı kelime sayısı), $m \times k$ 'lik ($k \rightarrow$ metinlerin yeni boyut sayısı) bir matrise dönüştürülür. Tekil Değer Ayırıştırma için JAMA kütüphanesi [16] kullanılmıştır.

3.12. Anlamsal Uzay

Bu özellik grubunda, metinlerin anlamsal bir uzaydaki koordinatları bulunmaktadır [17]. Bunun için önce metinleri oluşturan kelimelerin anlamsal uzaydaki koordinatları bulunup, daha sonra, metinlerin koordinatları; içerdikleri kelimelerin koordinatlarının ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Kelimelerin sayısal koordinatları, kelimelerin birbirlerine anlamsal yakınlıklarıyla uyumlu olarak bulunmaktadır. Buna göre birbirine anlamsal olarak yakın 2 kelimenin bulunan koordinatları arasındaki Öklid mesafesi de küçük olmaktadır. 2 kelimenin birbirine anlamsal yakınlığının ölçütü olarak Harris'in [18] yaklaşımı kullanılmıştır. Buna göre 2 kelime ne kadar çok birlikte kullanılıyorsa birbirlerine anlamsal olarak o kadar yakındır. Kelimelerin bu yakınlıklarını ölçmek için birlikte geçtikleri metin sayıları hesaplanmış ve Bölüm 3.9'da anlatılan Birlikte Geçme Matrisi'ne yazılmıştır.

Literatürde aralarındaki 2'li uzaklıklar bilinen kavramların bu uzaklıklarla uyumlu koordinatlarının bulunması için Çok Boyutlu Ölçekleme (Multi Dimensional Scaling) [19] yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem uzaklıklar üzerinde çalışıldığından bir yakınlık ölçütü olan Birlikte Geçme Matrisi Eşitlik 6'daki gibi tersine çevrilerek uzaklık ölçütüne dönüştürülmüştür.

$$dis(i, j) = \frac{1}{sim(i, j)} \quad (6)$$

Eşitlik 6'da, $dis(i, j)$; i. ve j. kelimeler arasındaki uzaklığı, $sim(i, j)$; i. ve j. kelimelerin birlikte geçtikleri metin sayısını göstermektedir. Bu yeni matrise Çok Boyutlu Ölçekleme uygulanarak kelimelerin koordinatları bulunmuştur. Çok Boyutlu Ölçekleme için MDSJ Kütüphanesi [20] kullanılmıştır. Metinlerin koordinatları ise daha önce de belirtildiği gibi içinde geçen kelimelerin bu anlamsal uzaydaki koordinatlarının ortalaması alınarak bulunmuştur.

3.13. Kavram Genelleştirme

Kelimelerin anlamlarına göre hiyerarşik bir yapıda düzenlendikleri Wordnet, Conceptnet gibi birçok çalışma mevcuttur. Türkçe için ise benzer yapıda hazırlanmış Türkçe Wordnet [21] bulunmaktadır. Bu özellik grubunda, bu hazır, sabit, eğitim kümesinden bağımsız veri kaynakları, kelimeleri bir üst kavramlarıyla ifade etmede kullanılmıştır. Bu sayede kelime kümelemede olduğu gibi, hem metinlerin boyut sayısı indirgenmiş, hem de metinlerin içerdikleri kavramlar daha anlamsal bir şekilde ifade edilmiş olmaktadır.

Kelimeleri bir üst kavramlarıyla ifade etme (genelleştirme) işlemi için 2 veri kümesi kullanılmıştır. İlki Türkçe

Wordnet'ten çıkarılmış 15018 adet kavram-üst kavram ikilisidir. İkincisi ise Zemberek'in kütüphanesinden alınan özel isimler listesidir. Eğer bir kelime kavram-üst kavram ikilileri listesinde kavramlar içinde yer alıyorsa onun yerine karşılık gelen üst kavram kullanılmıştır. Eğer bir kelime özel isimler listesinde yer alıyorsa onun yerine "insan" kavramı kullanılmıştır.

3.14. Sınıf Bilgisiyle Kelime Kümeleme

Bizim önerdiğimiz bu yöntemde, öncelikle kelimelerin her sınıftaki frekansları bulunarak kelime sınıf sayısı boyutlu bir uzayda birer noktaya dönüştürülmektedir. Daha sonra kelimeler, bu boyutları üzerinde 3.8. bölümde anlatılan kümeleme metodlarıyla sınıf sayısı adet kümeye ayrılmaktadır. Bu işlem sonunda her bir kelime sınıf sayısı adet kümeden birine ait olmaktadır. Metinler ise, sınıf sayısı adet kümenin frekanslarıyla ifade edilmektedirler. Bir kümenin bir metindeki frekansı, o kümede bulunan tüm kelimelerin o metindeki frekanslarının toplamıdır. Bu sayede metinler kelime sayısı adet boyut yerine, sınıf sayısı adet boyutla ifade edilmiş olmaktadır.

4. Deneysel Sonuçlar

Bölüm 2'de tanıtılmış olan 6 veri kümesi için, Bölüm 4'te anlatılan özellik gruplarının çeşitli konfigürasyonlarıyla arff'ler üretilmiştir. Özellik gruplarının her birinin çeşitli konfigürasyonları bulunmaktadır. Tablo 2'de özellik gruplarının (metin temsil yöntemlerinin) adları ve yazının bundan sonraki kısmında kullanılan kısaltmaları verilmiştir.

Tablo 2: Özellik gruplarının isim ve kısaltmaları

Kısaltma	Açıklama
Say	Sayılar Özellik Grubu (Bölüm 3.2)
2G	Harf 2 gramları (Bölüm 3.5)
3G	Harf 3 gramları (Bölüm 3.5)
K2G	Kelime 2 gramları (Bölüm 3.5)
KE	Kelime ekleri (Bölüm 3.7)
KT	Kelime Türleri (Bölüm 3.4)
FK	Fonksiyonel kelimeler (Bölüm 3.6)
KGI	Kavram genelleştirme isim tabanlı (Bölüm 3.13)
KGO	Kavram genelleştirme özel isim tabanlı (Bölüm 4.13)
KK	Kelime kökleri
KKHAL	Hiyerarşik kelime kümeleme (küme benzerlikleri ortalamaya göre) (Bölüm 3.8)
KKHCL	Hiyerarşik kelime kümeleme (küme benzerlikleri en uzak elemanlara göre) (Bölüm 3.8)
KKHSL	Hiyerarşik kelime kümeleme (küme benzerlikleri en yakın elemanlara göre) (Bölüm 3.8)
KKK	Kmeans ile kelime kümeleme (Bölüm 3.8)
KKS	SOM ile kelime kümeleme (Bölüm 3.8)
MDS	Birlikte geçme matrisi tabanlı anlamsal uzay (Bölüm 3.12)
LSI	Saklı Anlam İndeksleme (Bölüm 3.11)

Tablo 3'te kelime Türleri, 2 gram, 3 gram, Fonksiyonel kelimeler, kelime 2 gramları, kelime ekleri, kavram genelleştirme isim, kavram genelleştirme özel isim, kelime kökleri olmak üzere toplam 9 özellik gruplarının her biri için kullanılan 6 frekans hesaplama yöntemi ve yazının bundan sonraki bölümlerinde kullanılacak olan kısaltmaları verilmiştir.

Tablo 3: Frekans hesaplama için kullanılan yöntemler

Yöntem	Açıklama
Binary	Bir kavram metinde geçiyorsa 1 geçmiyorsa 0 (Bölüm 3.1)
Log	Eşitlik 2.
N1	Eşitlik 3.
N2	Eşitlik 4.
TF	Bir kavramın bir metindeki geçiş sayısı (Bölüm 3.1)
TFIDF	Eşitlik 1.

Tablo 4'te kelime kümelemede, KKHAL, KKHCL, KKHSL, KKK, KKS olmak üzere toplam 5 metodun her biri için kelimelerin kümelenmesinde kullanılan 4 matrisin isimleri ve kısaltmaları verilmiştir.

Tablo 4: Kelime Kümeleme için kullanılan matrisler

Yöntem	Açıklama
Cooccurrence	Kelime kümele Birlikte geçme matrisine göre (Bölüm 3.8 ve 3.9)
Snf	Kelime kümele sınıf bilgisine göre (Bölüm 3.14)
mTF	Kelime kümele TF matrisine göre (Bölüm 3.8)
mTFIDF	Kelime kümele TFIDF matrisine göre (Bölüm 3.8)

Kelimelerin kümelenmesinde küme sayısı 50 olarak belirlenmiştir. LSI ve MDS için metinlerin ifade edileceği boyut sayısı 50 olarak belirlenmiştir. MDS'te ve birlikte geçme matrisinin kullanıldığı her yöntemde yakınlıktan uzaklığa geçiş için Eşitlik 6 kullanılmıştır. Say özellik grubu için değişken bir parametre kullanılmamıştır.

Üretilen tüm metin temsil yöntemleri WEKA [22] ile birlikte kullanılabilirliği için arff formatında kaydedilmiştir. Sonuç olarak 6 veri kümesi her biri için $(9*6) + (5*4) + 3$ (LSI, MDS, Say) = 77 arff, toplamda $77*6 = 462$ arff üretilmiş ve her arff üzerinde 5'li çapraz geçilemeyle WEKA kütüphanesinde yer alan 5 adet sınıflandırıcının (en yakın komşu-1NN, karar ağacı-C4.5, destek vektör makineleri-SVM, Naive Bayes-NB, Random Forest-RF) performansı ölçülmüştür. Özellik gruplarının sınıflandırma performanslarını gösteren tablolardaki (Tablo 5-10) tüm değerler 5'li çapraz geçilemenin ortalama değerleridir.

Üretilen arff'lerin özellik sayısı (boyutu) 5000'den fazla olanlarda zaman ve hafıza problemlerinden ötürü özellikler önce InfoGain [23]'lerine göre sıralanmış daha sonra en yüksek IG'e sahip 100 özellik seçilerek arff bu haliyle

kaydedilmiştir. Sonuç tablolarında (Tablo 5-10), kullanılan 5 algoritmadan en yüksek performansa sahip olanının adı ve başarı yüzdesi verilmiştir. Özellik sayısı 101 olan kayıtlarda orijinal özellik sayısı 5000'i aştığından bilgi kazancına göre özellik seçimi yapılmıştır. arff dosya formatında sınıf bir özellik olarak yer almaktadır. Buna göre özellik sayısı d olan bir veri kümesinde, $d-1$ adet özellikle sınıf etiketi tahmin edilmektedir.

4.1. Şiir Veri Kümesi Denemeleri

Tablo 5'te bir şiirin yazarını tahmin etme problemi üzerinde yaptığımız denemeler verilmiştir.

Tablo 5: Şiir veri kümesinde her bir özellik grubunun en başarılı olduğu konfigürasyon ve başarı yüzdeleri, rastgele başarı % 14,29

Özellik Grubu	Konfi gürasyon	Özellik sayısı	Başarı yüzdesi	Sınıflandırıcı
3G	Binary	101	75,29	NB
KKHCL	Snf	8	67,86	1NN
2G	N1	1670	63,86	SVM
KKK	Snf	8	62,29	RF
Say		20	53,29	RF
KGI	Binary	1829	48	NB
KGO	Binary	1672	43,71	NB
KKS	Snf	8	41,86	NB
LSI		51	41,71	RF
KK	Binary	441	40,57	NB
FK	N1	410	36,14	RF
KE	TF	102	33,57	NB
KT	Log	16	32,29	SVM
KKHAL	mTFIDF	51	30,71	RF
KKHSL	Snf	8	29,14	1NN
MDS		51	28,71	SVM
K2G	TFIDF	21	18,86	C45

Tablo 5 incelendiğinde bir şiirin yazarını tahmin etmede en başarılı metin temsil yönteminin (özellik grubunun) 3gramlar'ı binary olarak kodlamak (3G-Binary) olduğu görülmektedir. Veri kümesi için üretilen tekil 3gramların sayısı 5 bin'i geçtiğinden özellik seçimi yapılmış ve bilgi kazancına göre en iyi 100 adet 3gram metinlerin temsiline kullanılmıştır. 7 şaire ait 20'şer şiirle elde edilen sonuçlara göre bir şiirin yazarı % 75,29'luk doğrulukla tahmin edilebilmektedir. En başarılı 2 yöntem (3G-Binary, KKHCL-Snf) arasında oldukça büyük bir fark bulunmaktadır.

4.2. Köşe Yazarı Veri Kümesi Denemeleri

Tablo 6'da bir köşe yazısının yazarını tahmin etme problemi üzerinde yaptığımız denemeler verilmiştir.

Tablo 6: Köşe Yazarı veri kümesinde her bir özellik grubunun en başarılı olduğu konfigürasyon ve başarı yüzdeleri, rastgele başarı % 5,56

Özellik Grubu	Konfi gürasyon	Özellik sayısı	Başarı yüzdesi	Sınıflandırıcı
2G	Log	3817	93,78	SVM
3G	Log	100	86,76	SVM
KK	Binary	800	85,68	SVM
FK	Log	534	81,49	SVM
KGI	Log	470	79,78	SVM
KGO	Log	448	79,68	SVM
Say		20	73,4	RF
KKK	Snf	19	65,49	RF
LSI		51	63,59	RF
KKHCL	Snf	19	63,17	RF
KE	Log	114	61,05	SVM
MDS		51	56,41	NB
K2G	Binary	427	53,94	NB
KKS	mTFIDF	43	53,87	RF
KT	Log	16	50,51	NB
KKHAL	mTFIDF	51	47,17	SVM
KKHSL	Co	51	35,14	RF

Tablo 6 incelendiğinde bir köşe yazısının yazarını tahmin etmede en başarılı metin temsil yönteminin (özellik grubunun) 2gramlar'ı Log olarak kodlamak (2G-Log) olduğu görülmektedir. 18 köşe yazarının 35'şer yazısıyla elde edilen sonuçlara göre bir köşe yazısının yazarı % 93,78'lik doğrulukla tahmin edilebilmektedir. En başarılı 2 yöntem (2G-Log, 3G-Log) arasında büyük bir fark bulunmaktadır.

Şiirlerin yazarlarının doğru tahmin yüzdesi % 75,29 iken, köşe yazılarının yazarlarının yüzdesi % 93,78'dir. Üstelik köşe yazarı veri kümemizde 18 yazar(sınıf) varken, şiir veri kümemizde 7 şair (sınıf) vardır. Sınıf sayısının artmış olmasına rağmen, başarının da artmış olması beklenmedik bir durumdur. Bu duruma 2 açıklama getirilebilir. İlki sınıflara ait örnek sayılarıdır. Veri kümelerinde şairlere ait 20'şer şiir varken, köşe yazarlarına ait 35'er örnek vardır ki bu köşe yazarlarının daha başarılı tahmin edilebilmesine olanak sağlamış olabilir. İkinci açıklama ise şiirlerde, köşe yazılarından çok daha fazla söz sanatına başvuruluyor olmasıdır. Ve eğer bir şairin üslubu kullandığı söz sanatı türlerine göre belirlenebiliyorsa ve çıkarılan özelliklerde bu söz sanatları yer almadığından şiirlerin yazarlarını köşe yazarları kadar iyi tahmin edemiyor olabilir.

4.3. Haberler Veri Kümesi Denemeleri

Tablo 7'de bir haber metninin konusunu tahmin etme problemi üzerinde yaptığımız denemeler verilmiştir.

Tablo 7: Haberler veri kümesinde her bir özellik grubunun en başarılı olduğu konfigürasyon ve başarı yüzdeleri, rastgele başarı % 20

Özellik Grubu	Konfi gürasyon	Özellik sayısı	Başarı yüzdesi	Sınıflandırıcı
2G	N1	3698	94,54	SVM
KK	N1	864	92,63	RF
KGO	Log	719	91,13	RF
KGI	N1	724	90,85	RF
3G	N1	101	90,47	RF
MDS		51	89,84	RF
KKK	Snf	6	87,51	RF
KKHCL	Snf	6	87,25	RF
KKS	mTFIDF	47	81,63	RF
LSI		11	73,48	RF
KKHAL	mTFIDF	51	73,44	RF
KE	Log	120	68,02	SVM
K2G	TFIDF	101	65,84	RF
FK	N1	534	62,61	RF
Say		20	57,08	RF
KT	Log	16	56,21	SVM
KKHSL	Co	51	47,06	C45

Tablo 7 incelendiğinde bir haberin türünü tahmin etmede en başarılı metin temsil yönteminin (özellik grubunun) 2gramlar'ı Eşitlik 3'teki gibi normalize edip kodlamak (2G-N1) olduğu görülmektedir. 5 haber türüne ait 230'ar haber metniyle elde edilen sonuçlara göre bir haberin türü %94,54'lük doğrulukla tahmin edilebilmektedir. En başarılı 2 yöntem (2G-N1, KK-N1) arasında küçük bir fark bulunmaktadır.

4.4. Cinsiyet Veri Kümesi Denemeleri

Tablo 8'de bir köşe yazısının yazarının cinsiyetini tahmin etme problemi üzerinde yaptığımız denemeler verilmiştir.

Tablo 8: Cinsiyet veri kümesinde her bir özellik grubunun en başarılı olduğu konfigürasyon ve başarı yüzdeleri, rastgele başarı % 52,38

Özellik Grubu	Konfi gürasyon	Özellik sayısı	Başarı yüzdesi	Sınıflandırıcı
2G	Binary	101	99,62	SVM
3G	Log	101	98,67	1NN
LSI		51	98,1	RF
KK	Binary	101	95,81	SVM
KGI	Binary	95	95,81	SVM
KKK	Snf	3	95,62	1NN

KGO	TFIDF	93	95,43	SVM
KKHSL	Snf	3	95,24	C45
KKHCL	Snf	3	93,52	INN
K2G	TFIDF	83	87,62	NB
FK	Log	42	81,14	SVM
Say		20	79,24	RF
KE	Log	11	77,33	NB
KKS	mTF	49	76,57	SVM
KKHAL	Co	6	71,05	INN
MDS		6	70,67	NB
KT	N1	3	64,19	NB

Tablo 8 incelendiğinde bir metnin yazarının cinsiyetini tahmin etmede en başarılı metin temsil yönteminin (özellik grubunun) 2gramlar'ı binary olarak kodlamak (2G-Binary) olduğu görülmektedir. Veri kümesi için üretilen tekil 2gramların sayısı 5 bin'i geçtiğinden özellik seçimi yapılmış ve bilgi kazancına göre en iyi 100 adet 2gram metinlerin temsilinde kullanılmıştır. Her bir cinsiyetteki yazarlara ait 50-55'şer yazı ile elde edilen sonuçlara göre bir metnin yazarının cinsiyeti % 99,62 gibi yüksek bir doğrulukla tahmin edilebilmektedir. En başarılı 2 yöntem (2G-Binary, 3G-Log) arasında küçük bir fark bulunmaktadır.

4.5. Film Yorumları Veri Kümesi Denemeleri

Tablo 9'da bir filme yapılmış yorumun duygusal yönünü tahmin etme problemi üzerinde yaptığımız denemeler verilmiştir.

Tablo 9: Film Yorumları veri kümesinde her bir özellik grubunun en başarılı olduğu konfigürasyon ve başarı yüzdeleri, rastgele başarı % 28,57

Özellik Grubu	Konfi gürasyon	Özellik sayısı	Başarı yüzdesi	Sınıflandırıcı
KKK	Snf	4	96,38	INN
3G	Binary	101	88,76	NB
KKHCL	Snf	4	75,81	SVM
LSI		6	75,62	RF
KKS	Snf	4	65,14	SVM
KGI	Binary	21	64,76	NB
2G	Binary	93	59,62	NB
KGO	TF	21	54,86	NB
KK	Binary	23	54,29	SVM
KKHAL	mTFIDF	6	52,57	C45
FK	Log	54	48,76	RF
K2G	TFIDF	6	48,19	C45
KE	N1	10	46,86	SVM
MDS		51	46,29	NB
KKHSL	Co	51	46,1	NB
KT	Binary	16	44,19	C45
Say		20	38,48	NB

Tablo 9 incelendiğinde bir filme yapılan yorumun negatif, pozitif ya da nötr olduğunu tahmin etmede en başarılı metin temsil yönteminin (özellik grubunun) kelime köklerini Kmeans ile Sınıf bilgisine göre kodlamak (KKK-Snf) olduğu görülmektedir. 3 gruba ait 35'er yorumla elde edilen sonuçlara göre bir yorumun yönü %96,38'lik doğrulukla tahmin edilebilmektedir. En başarılı 2 yöntem (KKK-Snf, 3G-Binary) arasında büyük bir fark bulunmaktadır.

4.6. Ruh Hali Veri Kümesi Denemeleri

Tablo 10'da bir yazının yazıldığı anda yazarının içinde bulunduğu ruh halini tahmin etme problemi üzerinde yaptığımız denemeler verilmiştir.

Tablo10: Ruh Hali veri kümesinde her bir özellik grubunun en başarılı olduğu konfigürasyon ve başarı yüzdeleri, rastgele başarı % 25,48

Özellik Grubu	Konfi gürasyon	Özellik sayısı	Başarı yüzdesi	Sınıflandırıcı
3G	Binary	101	85,23	NB
KKK	Snf	5	80,67	INN
KKHCL	Snf	5	78,73	INN
KGI	TFIDF	100	67,29	RF
LSI		6	66,21	RF
KK	Binary	101	64,98	NB
KGO	Binary	101	64,19	NB
2G	N1	101	61,63	RF
K2G	TFIDF	101	56,84	C45
KKHAL	mTF	51	54,94	RF
KKS	Snf	5	49,73	RF
FK	N1	534	48,49	RF
MDS		51	46,76	RF
KE	Log	118	45,83	RF
KT	Log	16	41,12	RF
KKHSL	Co	6	39,26	RF
Say		20	38,06	RF

Tablo 10 incelendiğinde bir blog yazarının blog yazıldığı andaki ruh halini tahmin etmede en başarılı metin temsil yönteminin (özellik grubunun) 3gramlar'ı binary olarak kodlamak (3G-Binary) olduğu görülmektedir. Veri kümesi için üretilen tekil 3gramların sayısı 5 bin'i geçtiğinden özellik seçimi yapılmış ve bilgi kazancına göre en iyi 100 adet 3gram metinlerin temsilinde kullanılmıştır. 4 ruh halinin her birine ait 38-40'ar blogla elde edilen sonuçlara yazarın ruh hali % 85,23'lük doğrulukla tahmin edilebilmektedir. En başarılı 2 yöntem (3G-Binary, KKK-Snf) arasında büyük bir fark bulunmaktadır.

4.7. Deneme Sonuçlarının Birlikte Değerlendirilmesi

Sonuç tabloları (5-10) en başarılı sınıflandırıcılar yönünden incelendiğinde (sınıflandırıcıların tabloların son sütunlarında yer alma sayıları) Tablo 11'deki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 11'deki sayılar sınıflandırıcının 102 (17 özellik grubu * 6 veri kümesi) arff dosyası üzerinde kaçında en başarılı algoritma olduğunu göstermektedir.

Tablo 11: En Başarılı sınıflandırıcıların dağılımı 102 arff dosyası içinde kaç kere en başarılı oldukları

Sınıflandırıcı	Kaç kere en başarılı olduğu
RF	39
SVM	24
NB	23
INN	9
C45	7

Tablo 11 incelendiğinde en başarılı sınıflandırıcının Random Forest (RF) olduğu, onu Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Naive Bayes (NB)'in takip ettiği görülmektedir. En yakın komşu (INN) ve karar ağaçları (C4.5) algoritmalarının pek başarılı olmadıkları görülmektedir.

Tablolar (5-10) Özellik gruplarının en başarılı oldukları konfigürasyonlar yönünden incelenmesiyle (ikilinin tabloların ilk 2 sütununda yer alma sayıları) ilgili sonuçlar Tablo 12'de verilmiştir. Örneğin 2G özellik grubu, 6 veri kümesinin üçünde N1 ile, ikisinde Binary ile birinde ise Log ile en başarılı olmuştur.

Tablo 12: Özellik gruplarının en iyi oldukları konfigürasyonlar

Özellik Grubu	En iyi olduğu Konfigürasyon ve Sayıları
2G	3 N1, 2 Binary, 1 Log
3G	3 Binary, 2 Log, 1 N1
FK	3 N1, 3 Log
K2G	5 TFIDF, 1 Binary
KE	4 Log, 1 N1, 1 TF
KGI	3 Binary, 1 Log, 1 N1, 1 TFIDF
KGO	2 Binary, 2 Log, 1 TF, 1 TFIDF
KK	5 Binary, 1 N1
KKHAL	4 mTFIDF, 1 mTF, 1 Coocurance
KKHCL	6 Snf
KKHSL	4 Co, 2 Snf
KKK	6 Snf
KKS	3 Snf, 2 mTFIDF, 1 mTF
KT	4 Log, 1 Norm1, 1 Binary

Tablo 12'ye göre K2G özellik grubunun TFIDF ile, KK özellik grubunun Binary ile ağırlıklandırılması, kelime kümeleme yaparken ise KKHCL ve KKK metotlarında Snf kullanılması daha iyi sonuçlar üretmiştir.

Özellik gruplarının genel olarak ne kadar başarılı oldukları incelemek için Tablo 5-10'larda özellik grubunun her bir veri kümesinde en başarılı kaçınıcı oldukları (1-17 arası) yazılmış ve bu sayıların ortalamaları alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13: Özellik gruplarının ortalama ve her veri kümesindeki başarı sıralamaları (17 özellik grubu arasında, 6 veri kümesinde ortalama kaçınıcı oldukları)

Özellik Grubu	Ortalama Başarı Sıralaması	Şiir	Köşe yazarı	Haberler	Cinsiyet	Film yorumları	Ruh hali
2G	3,5	3	1	1	1	7	8
3G	2,2	1	2	5	2	2	1
FK	10,5	11	4	14	11	11	12
K2G	12,3	17	13	13	10	12	9
KE	12,5	12	11	12	13	13	14
KGI	5	6	5	4	5	6	4
KGO	6,3	7	6	3	7	8	7
KK	5,7	10	3	2	4	9	6
KKHAL	12,7	14	16	11	15	10	10
KKHCL	5,8	2	10	8	9	3	3
KKHSL	14,7	15	17	17	8	15	16
KKK	4,7	4	8	7	6	1	2
KKS	10,2	8	14	9	14	5	11
KT	15,3	13	15	16	17	16	15
LSI	6,7	9	9	10	3	4	5
MDS	12,8	16	12	6	16	14	13
Say	12,2	5	7	15	12	17	17

Tablo 13 incelendiğinde kullanılan 6 veri kümesi için en başarılı 3 özellik grubunun sırasıyla 3G, 2G ve KKK olduğu görülmektedir.

Harf 2gramları (2G) film yorumları ve ruh hali veri kümeleri haricinde çok başarılı sonuçlar elde etmiştir. Harf 3gramları (3G) ise haberler haricinde çok başarılı sonuçlar elde etmiştir. Fonksiyonel kelimeler en yüksek başarılarını köşe yazarlarını tanımada göstermişlerdir. Düz metinlerdeki üslubun belirlenmesinde fonksiyonel kelimelerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi buradan görülmektedir. Kelime 2gramları (K2G), Kelime türleri (KT) ve kelime ekleri (KE) hiçbir veri kümesinde başarı gösterememişlerdir. Kavram genelleştirmenin başarılı sayılabilmesi için kelime köklerinden (KK) daha başarılı sonuçlar üretmesi gereklidir. Buna göre kavramların bir üst kavramlarıyla ifade edilmesi (KGI), şiir, film yorumları ve ruh hali veri kümelerinde kelime köklerinden (KK) daha iyiyken, özel isimlerin insan kavramına dönüştürülmesi (KGO) sadece şiir veri kümesinde kelime köklerinden daha iyi sonuçlar üretebilmiştir. Kelime kökleri (KK) şiir ve film yorumları haricinde başarılıdır.

Kelime kümeleme metotları (KKHAL, KKHCL, KKHSL, KKK, KKS) arasında en başarılısı kmeans ile kümeleme (KKK) olmuştur. Tablo 12'deki değerlere bakıldığında KKK'nın en iyi Snf ile birlikte çalıştığı gözükmektedir.

Anlamsal uzaylarda LSI, MDS'e göre oldukça başarılı sonuçlar üretmiştir. 6 veri kümesinde, MDS'in LSI'dan iyi olduğu sadece 1 veri kümesi (haberler) bulunmaktadır. Bu veri kümesini diğerlerinden ayıran özelliği her bir sınıfa ait çok sayıda örneğin oluşudur. Buna göre MDS ile iyi sonuçlar almak için örnek sayısının çok olduğu veri kümelerinin kullanımı önerilebilir. Sayılar (Say) özellik grubu şiir ve köşe yazarı veri kümeleri haricinde çok kötü sonuçlar almıştır.

Sonuçlar veri kümelerinin türlerine göre incelenmesiyle Tablo 14 elde edilmiştir.

Tablo 14: Veri kümelerinde en başarılı sonuçlar alan konfigürasyonlar

Veri kümesi	Ort. Kelime Sayısı	Ort. Cümle sayısı	Rastgele Başarı	Elde edilen en yüksek başarı	Özellik sayısı	Özellik grubu ve konfigürasyonu
Ruh hali	247,1	28,1	25,48	85,23	101	3G-Binary
Film yorumları	49,3	4,8	28,57	96,38	4	KKK-Snf
Köşe yazarı	398,5	45,3	4,76	93,78	3817	2G-Log
Cinsiyet	377	54	52,38	99,62	101	2G-Binary
Haberler	204,8	17	20	94,54	3698	2G-N1
Şiir	79,5	7,4	14,29	75,29	101	3G-Binary

Tablo 14 incelendiğinde, en yüksek başarı elde edilen veri kümesi yazarın cinsiyetini belirlediğimiz veri kümesidir. En zor veri kümesinin şiirlerin yazarlarını bulma olduğu görülmektedir. Bununla beraber tüm veri kümelerinde en az % 75'lik bir başarı elde edilmiş olması otomatik metin sınıflandırma konusunda çok çeşitli görevlerde başarının yakalandığını göstermektedir.

En başarılı metin temsili yöntemlerine bakıldığında, harf ngramlarının başarısı göze çarpmaktadır.

Ngramların ağırlıklandırılmasında oldukça popüler olan TF ve TFIDF yerine Binary, Log ve N1 ağırlıklandırma yöntemlerinin daha başarılı oldukları görülmektedir.

Metinlerin boyutlarıyla başarı oranları birlikte incelendiğinde, kısa metinlerde de uzun metinlerde de yüksek başarıların elde edilebildiği görülmüştür.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Sınıflandırma uygulamalarında örneklerin nasıl temsil edileceği performansa en çok etki eden parametredir. Bunun doğal sonucu olarak uygun özelliklerin seçimi sınıflandırma performansını arttırmaktadır. Bu çalışmada çeşitli türdeki metin sınıflandırma problemleri için özellik gruplarının performansa etkileri araştırılmıştır.

Kullanılan 6 farklı metin veri kümesinin her biri için 17 özellik grubunun çeşitli konfigürasyonlarından oluşan 77 farklı temsil yöntemi denenmiş ve bu işlem sonucu oluşan 462 (6*77) adet arff dosyası 5 adet sınıflandırma metoduyla sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma performansları 5'li çapraz geçeleme ile ölçülmüştür.

Ayrıntıları 5.bölümde verilen sonuçlara göre genel olarak n-gramların diğer metin temsil yöntemlerinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Ngramların her türlü dile uygulanabilir olması, herhangi bir dile özel ön işlem gerektirmiyor olması ngramların diğer olumlu yanları olarak sayılabilir. Ngramların ağırlıklandırılmasında oldukça popüler olan TF ve TFIDF yerine Binary, Log ve N1 ağırlıklandırma yöntemlerinin daha başarılı oldukları görülmüştür.

Tarafımızdan geliştirilmiş olan sınıf bilgisine dayalı kelime kümeleme yöntemi, Film Yorumları veri kümesinde en başarılı temsil yöntemidir. Film yorumları veri kümesi, İnternet üzerindeki kullanıcı yorumlarının olumlu ya da olumsuz şekilde etiketlenmesi üzerine bir veri kümesidir ki bu konu günümüzde ticari değeri yüksek olduğundan oldukça sıcak bir araştırma alanıdır.

Gelecek çalışmalar olarak anlamsal uzayda yakınlıktan uzaklığa dönüşümde yeni yöntemlerin kullanılması ve yöntemlerin İngilizce metinler üzerinde denenmesi düşünülmektedir.

6. Teşekkür

Özellik çıkarımına ve deneylerin çalıştırılmasına büyük emek harcayan Feruz DAVLETOV, Arslan TORAYEW, Ümit ÇİFTÇİ, Burhanettin İRMİKÇİ'ye ve değerli yorumlarıyla çalışmamıza katkıda bulunan Kemik Doğal Dil İşleme Grubu (www.kemik.yildiz.edu.tr) üyelerine teşekkür ederiz. Bu çalışma, bir Ericsson şirketi olan Bizitek'in 3110278 no'lu TÜBİTAK-TEYDEB projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Amasyalı, M. F., Diri, B., "Automatic Turkish Text Categorization in Terms of Author, Genre and Gender", 11th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems-NLDB2006, LNCS Volume 3999, 2006.
- [2] Türkoğlu, F., Diri, B., Amasyalı, M. F., "Author Attribution of Turkish Texts by Feature Mining", Third International Conference on Intelligent Computing, ICIC 2007, Qingdao, China, LNCS Volume 4681, 2007.
- [3] Bekkerman R., Ran El-Yaniv, Naftali T., Yoand W., "Distributional Word Clusters vs. Words for Text Categorization", Journal of Machine Learning Research, 1-48, 2002.
- [4] Song, F., Liu, S., Yang, J., "A comparative study on text representation schemes in text categorization", Pattern Anal Applic (8), 199-209, 2005.
- [5] Çiltik, A. ve Güngör, T., "Time-Efficient Spam E-mail Filtering Using N-gram Models", Pattern Recognition Letters 29(1), 19-33, 2008.

- [6] Ciya L., Shamim A., Paul D., "Feature Preparation in Text Categorization", Oracle Text Selected Papers and Presentations, 2001.
- [7] Özel, B., "Küresel k-Ortalama Gruplama Yöntemi ile Metinlerin ve Terimlerin Saklı Anlam İndekslenmeleri", ASYU, İstanbul, Turkey, 223-227, 2004.
- [8] Holmes, D. I., "The Evolution of Stylometry in Humanities Scholarship", *Literary and Linguistic Computing*, 13 (3): 111-117, 1998.
- [9] Amasyalı, M. F., Davletov, F., Torayew, A, Çiftçi, Ü, "text2arff: Türkçe Metinler İçin Özellik Çıkarım Yazılımı", SİU, Diyarbakır, 2010.
- [10] Berry, M. W., Browne, M., "Understanding Search Engines: Mathematical Modeling and Text Retrieval", Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2005.
- [11] Torunoglu, D., Cakirman, E., Ganiz, M.C., Akyokus, S., Gurbuz, M.Z., "Analysis of preprocessing methods on classification of Turkish texts", INISTA, İstanbul, Turkey, 112 - 117, 2011.
- [12] <http://code.google.com/p/zemberek/>
- [13] Alpaydın, E., "Introduction to Machine Learning", The MIT Press, 146-148, 2004.
- [14] Alpaydın, E., "Introduction to Machine Learning", The MIT Press, 135-139, 2004.
- [15] Alpaydın, E., "Introduction to Machine Learning", The MIT Press, 282-283, 2004.
- [16] JAMA: A Java Matrix Package, <http://math.nist.gov/javanumerics/jama>
- [17] Amasyalı, M. F., Beken, A., "Türkçe Kelimelerin Anlamsal Benzerliklerinin Ölçülmesi ve Metin Sınıflandırmada Kullanılması", SİU, 2009.
- [18] Haris Z. S., "Mathematical structures of language", Wiley, 12, 1968.
- [19] Alpaydın, E., "Introduction to Machine Learning", The MIT Press, 121-124, 2004.
- [20] Multidimensional Scaling for Java, University of Konstanz, Department of Computer & Information Science, Algorithmics Group, <http://www.inf.uni-konstanz.de/algo/software/mdsj/>
- [21] Bilgin, O., Çetinoğlu, Ö., Oflazer, K., "Building a wordnet for Turkish", *Romanian Journal of Information Science and Technology*, (7), 163-172, 2004.
- [22] Witten, I. H., Frank, E., "Data Mining: Practical machine learning tools and techniques", 2nd Edition, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2005.
- [23] Hall, M. A., "Correlation-based Feature Selection for Machine Learning", Doktora Tezi, Hamilton, NZ: Waikato University, Department of Computer Science, 1998.

Tek Robottan Çoklu Robotlara Ortam Haritalama Map Building: From Single Robot to Multirobot Systems

Hakan Karaoğuz, Özgür Erkent, Haluk Bayram ve H. Işıl Bozma

Akıllı Sistemler Lab.

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Boğaziçi Üniversitesi, Bebek, İstanbul

Özetçe

Bu makalenin amacı, robotlar için ortam haritalama konusunda yapılmış çalışmalarını, tek robottan başlayarak, çoklu robotlara kadar tarayarak kapsamlı ve güncel bir literatür değerlendirmesi sunmaktır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, ortam haritalama problemlerinin iki önemli kısmı bulunduğu görülmektedir. İlk kısım, ortamda nelerin algılanacağı ve haritanın nasıl bir tanımlama ile oluşturulacağıdır. İkinci kısım ise, seçilen bu model ve robottan gelen bilgiler çerçevesinde, haritanın muhakeme için nasıl kullanılacağına ve güncelleneneğine dairdir. Çoklu robotlar ile ortam haritalama çalışmaları, tek robot için geliştirilen harita ve muhakeme yöntemlerinin çoklu robotlar için geliştirilmesini esas aldığı görülmektedir. Bu çerçevede, seçilen makaleler 3 ana başlık altında sırasıyla incelenmekte ve yapılan uygulamalar genel olarak sunulmaktadır. Makale, genel bir değerlendirme ile sonlanmaktadır.

Abstract

This paper presents a survey of map building with a single robot to multirobot systems. Map building is addressed in two related topics. The first pertains to the map models that have been developed while the second is associated with reasoning methods that are used in updating the constructed maps with the incoming sensory data. While initial work in this area has focused on single robots, recent work has started considering multirobot systems. Most such systems basically extend approaches that have been originally developed for single robots to multirobot scenarios. In this paper, we consider map models, reasoning with maps and multirobot map building one by one. Our attempt is to provide a comprehensive coverage of related work. The paper concludes with a discussion of related applications and a general evaluation.

I.Giriş

Robotların, buldukları ortamı mümkün olduğunca kapsamlı olarak algılamaları ve algı temelli haritalar oluşturarak uzamsal muhakemede kullanabilmeleri önemli bir özelliktir. Çevre tarama ve araştırma, hareket, taşıma gibi farklı görevleri otonom olarak yapabilmeleri önemli ölçüde bu özelliğe bağlıdır. Ortam haritalama çalışmaları, ilk olarak tek bir robot temel alınarak başlamıştır. Bu konudaki araştırma ve uygulamalar belli bir ilerleme kaydedince, tek robotun göreceli olarak kısıtlı olan hareket ve algılama kabiliyetinin, birden fazla robotun aynı anda kullanılmasıyla daha genişletilebileceği öngörülmüştür. Bu çerçevede, çoklu robotlar ile, her robotun kendi sınırlı algılarını, diğer robotlar ile paylaşması hedeflenmiştir. Buna ek olarak, sınırlı bilgilerin paylaşımı ile

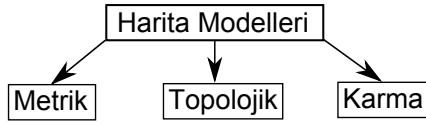
keşfedilen ortamın koordineli ve tümleşik olarak daha kapsamlı algılanmasının mümkün olabileceği düşünülmüştür. Bu makalede, robotlar için ortam haritalama konusunda yapılmış çalışma ve araştırmaları, tek robottan başlayarak, çoklu robotlara kadar tarayan, kapsamlı ve güncel bir literatür değerlendirmesi sunulmaktadır. Literatürde, bu konuda en son yayınlanan tarama makalesi 2002 yılında yapılmış olduğundan [160], çalışmamızda ağırlıklı olarak 2000 yılından sonra yayınlanan makaleler bulunmaktadır. Bu tarama esnasında, incelenen makalelerin seçimi, sunulan yaklaşım, alınan atıflar ve güncellik temel alınarak yapılmıştır. Benzer yaklaşımları kullanan makalelerden bir örnek makale seçilerek liste yaklaşık 75 makaleye indirilmiştir. Çoklu robotlar konusunda yapılan çalışmaların çoğunun, tek robot tarafından yapılan ortam algılama ve haritalama konularındaki çalışmaları temel aldığı görülerek, bu konudaki makaleler de taranarak, yine benzer şekilde yaklaşık 60 makale seçilmiştir. Ayrıca, çoklu robotlar ile yapılan çalışmaların çoğunda, hareket ve iletişim konularının genel olarak ele alındığı belirlendiğinden, keşif, haritalama ve iletişim konularına odaklanan çalışmalar ayrıca taranarak, yaklaşık 65 makale değerlendirme kapsamına alınmıştır. Bu makalelerin bazılarının örtüşmesi nedeni ile çalışmamızın kapsamında yaklaşık 180 makale bulunmaktadır.

Seçilen makaleler incelendiğinde, ortam haritalama problemlerinin iki önemli kısmı bulunduğu görülmektedir. İlk kısım, nasıl bir harita oluşturulacağıdır. Harita modeli, ortamların nasıl tanımlanacağı ile ilintilidir. Bu çerçevede, hangi algılama kiplerinin kullanılacağı, hangi özneliklerin çıkartılacağı ve bu verinin nasıl bir gösterime dönüştürüleceğini içermektedir. İkinci kısım ise, seçilen harita modeli ve ortamdaki gelen algı bilgileri çerçevesinde, haritanın muhakeme amaçlı olarak nasıl kullanılacağına ve nasıl güncelleneneğine dairdir. Çoklu robotlar ve ortam haritalamada yapılan çalışmaların, esas olarak tek robot için geliştirilen harita ve muhakeme yöntemlerinin geliştirilmesini esas aldığı görülmektedir. Bu çerçevede, seçilen makaleler 3 ana başlık altında incelenmektedir. II. bölümde, harita modellerine yönelik çalışmalar sunulmaktadır. III. bölümde ise, tek robot ile haritaların çıkarımı ve kullanımı ile ilgili çalışmalar anlatılmaktadır. Çoklu robotlar ile ortam haritalama ile ilgili çalışmalar ise IV. bölümde açıklanmaktadır. V. bölümde, haritalama uygulamalarından bahsedilmiştir. Makale, özet bir değerlendirme ile sona ermektedir. Kullanımları yeni olan terimlerin, İngilizce karşılıkları Ek VI'da sunulmaktadır.

II.Harita Modelleri

Harita modelleri, robotun uzamsal tanımlamayı nasıl yapacağı ile ilintilidir. Uzamsal gösterim, hem robotun bulunduğu konumdaki ortamı, hem de o anki algısal alanının dışında olup,

önceden ziyaret ettiği veya bir başka kaynaktan alınmış olan farklı ortam bilgisini içerir [94]. Geliştirilen modeller, dünya merkezli veya robot merkezli olabilmektedir [160]. Dünya merkezli haritalar küresel koordinat sistemi içinde oluşturulmaktadır. Robot merkezli haritalar ise ölçüm uzayı içinde tanımlanmaktadır. Geliştirilen modeller, Şekil 1'de gösterildiği üzere üç grupta sınıflandırılabilir: i) Metrik modeller, ii) Topolojik modeller ve iii) Karma modeller. Ancak, topolojik modellerde çeşitli seviyelerde geometrik bilgi içerebildiğinden, metrik modeller ile topolojik modeller arasındaki fark her zaman tam olarak açık olmayabilir.



Şekil 1: Harita Modelleri

A. Metrik Modeller

Metrik modellerde, Kartezyen koordinatlarında bir referans yön sistemi temel alınır ve tüm bilgiler bu sistem içine konumlandırılır. Bu yaklaşımlar, aynı zamanda allosentrik veya dünya merkezli olarak da tanımlanırlar [87]. En çok kullanılan metrik harita, doluluk kafesleridir [46]. Burada, ortam kafeslere bölünerek gösterilir [11], [160]. Kafes tabanlı haritalama yöntemleri, ortamın modellemesini sağlayarak değişik algılayıcılardan gelen verilerin tümeleştirilmesinde kolaylık sağlayıp, yüksek çözünürlükle iyi bir sonuç vermektirler. Ancak, geniş ortamlarda, sabit kafes boyutu nedeniyle, çok fazla sayıda kafes oluşabileceği için, bunların oluşturulması ve planlamada kullanılması hesapsal açıdan oldukça maliyetli olabilir [19], [103]. Dolayısı ile, büyük ölçekli haritalarda döngüleri kapama, haritaları saklama, mevcut yeri önceki yerlerle karşılaştırma ve robotu ilk yeri hakkında bilgilendirmeden genel konumlandırma konularında problemler yaşanmaktadır [128]. Yüksek hesapsal yükü azaltmak için, alt harita tabanlı modeller öne sürülmüştür. Alt haritalar, küçük yerel haritalardır ve bir araya getirilerek büyük harita sistemleri oluşturabilmektedirler. Genellikle çevreyi eşit alt haritalara bölerek çevrenin topolojisini göz ardı ederler [31], [82], [124].

Bu hususlara ek olarak, doluluk kafeslerinin yapısı, kameradan alınan imgeler gibi zengin bilgilerin kaydedilmesine olanak vermemektedir. Buna yönelik olarak, haritaların bilgi içerikleri, çeşitli özniteliklerin yerleri bulunarak ve haritada gösterilerek zenginleştirilmektedir [77], [147]. Burada önemli bir konu, haritaya hangi nirengi noktalarının koyulacağına belirlenmesidir. Yapay işaretler doğal olanlara göre daha karardır. Ancak, yapay işaretler için ortama müdahale gerekir, bu yüzden de daha çok doğal işaretler tercih edilir. Doğal nirengi noktası olarak köşeleri, kapıları ve farklı binaları içeren pek çok farklı öznitelik kullanılmıştır. Ne var ki gerçek zamanlı kullanımda, hangi özniteliklerin kullanılacağı konusundaki çalışmalar devam etmektedir.

B. Topolojik Modeller

Metrik haritalara alternatif olarak topolojik haritalar önerilmiştir [136]. Topolojik haritalar, kaydedilen yerlerin allotetik veya robot merkezli karakterizasyonlarıdır [51], [52]. Topolojik haritada uzamsal bilgi, bitişiklik diyagramları kullanan ve

patikalarla bağlanan yerlerin derlemesi olan bir çizge olarak tanımlanır. Bu çizgenin düğümleri farklı yerleri temsil ederken, kenarlar yerler arasındaki bağıl yönelimleri veya patika uzunluğu gibi bitişiklik ilişkileri temsil ederler. Örnek olarak, [36]'de düğümler haritadaki belli başlı özel noktaları (köşe, kapı, koridor sonu v.s.) temsil ederken, kenarlar, bu düğümler arasındaki geçişlere karşılık gelmektedirler. Burada en önemli husus, yer tanımlarının nasıl yapılacağıdır [94]. Yer tanımları, bağlamsal tabanlı ve görünüş tabanlı olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır.

Bağlamsal tabanlı yaklaşımlar gelen görsel veriyi doğrudan kodlayan yaklaşımlardır. Kullanılan yer tanımları içinde 9×9 , 15×15 piksel gibi bağıl büyük imge parçaları [35], Ayrık Fourier Dönüşümü [127], özimgelere parçalama [80], ana bileşenler analizi [93], dalgacık imge dönüşümü [163] gibi değişen seviyelerde uzamsal entegrasyonlu filtre yanıtlarını kullanılmaktadır. Örneğin, bir çalışmada harita farklı imge kareleri arasında bağıl konum şebekesi olarak tanımlanır [167]. Farklı bir yaklaşımda ise, imge altimgelere bölündükten sonra elde edilen yönlü tekdüze görüntülerin histogramları betimleyici olarak kullanılmaktadır [49].

Diğer yaklaşım olan görünüş tabanlı yaklaşımlarda ise, ilk önce gelen görsel veriden bazı öznitelikler elde edilir ve bu öznitelikler ortamın tanımlanmasında kullanılır [166]. Örneğin, iç mekanların haritalanmasında, tipik olarak düğümler koridor gibi birleşme yerlerini temsil ederken, kenarlar ise bir birleşmeden diğerine olan patikalardır [74]. Bu tip haritalama yöntemlerinde kullanılan özniteliklerden bazıları, köşeler [67], SIFT [147], SURF [14] ve çeşitli filtrelerdir [18]. Örneğin, yer tanımları, [57]'de SIFT öznitelikleri, [119]'da SURF öznitelikleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu tür öznitelikler, çok kullanılmakla beraber her ortamda istenen başarıyı gösterebilmektedir.

Bu soruna bir çözüm getirmek amacıyla, öznitelikleri farklı dönüşümler ile birlikte kullanılarak, daha dayanıklı ve tıkHz tanımlamaların elde edilmesi hedeflenmiştir. Örneğin, kelime çantası yaklaşımında, bir imgedeki ilginç noktalar bulunarak SIFT öznitelikleri ile yüksek boyutlu bir vektör uzayında tanımlandıktan sonra, sayısal olarak nicelenerek bir görsel kelime ile ifade edilir [154]. Bu nicelme sayesinde her bir imge görsel kelimeler histogramı ile gösterilir ve imge eşleme bu histogramlar temel alınarak yapılır [28]. Parmak izinde ise her bir imgedeki ilginç noktalar çıkartılarak farklı bir harf ile gösterilir ve imge bu harflerin dizisi olarak betimlenir [96]. İki farklı imgenin benzerliği ise bu harf dizisinin karşılaştırılması ile hesaplanır. Eğer ortamda küçük değişimler varsa, bundan imgenin sadece bazı noktaları etkileneceğinden, tanımlamada ufak değişimler olacaktır. Dolayısı ile, veritabanındaki arama veya karşılaştırma çok daha dayanıklı olacaktır. Buna yönelik geliştirilen sözlük ağacı, sözcükleri hiyerarşik olarak organize eder [126]. Bir başka yaklaşımda ise, tüm öznitelikleri kullanmak yerine, çok daha küçük bir altkümenin kullanıldığı iskelet modeli önerilmiştir [91], [92]. Ne var ki, görsel sözlüklerin öğretilmesinde, özniteliklerin fazla sayıda olması veya bu sözlükleri oluştururken kullanılan yöntemin görsel bozulmalara karşı dayanıklılığın sağlanması gibi belli zorluklar vardır [29].

Bunlara ek olarak, tüm bu yaklaşımlar, imgenin yapısal bilgisini kaybetme sorunuyla karşı karşıyadır [175]. Yer tanım-

larının uzamsal bilgi içermesi ile bilgi içeriklerinin zenginleşeceği kesin olduğundan, bunu dikkate alan çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan ilki, imgeleri bir küre üzerine izdüşümünün yapıldığı benmerkezi algılama kürelerdir [4]. Benzer şekilde, küreyi bir veritabanı yapısı olarak kullanarak verileri saklayan yaklaşımlar önerilmiştir [110], [131]. Tanımlamalar, imgelere küresel bir izdüşüm uygulandıktan sonra, küresel harmonik katsayıları ile yapılarak daha da tıkHz hale getirilmişlerdir [62], [105], [140]. Farklı bir yaklaşım olan baloncuk hafıza modelinde ise, görsel öznitelikler ve aralarındaki uzamsal ilişkiler robot merkezli olarak birlikte kodlanmaktadır [155], [156]. Esasen topolojik temelli olmakla beraber, öznitelikler arasındaki geometrik ilişkiler küresel uzayda kodlandığından, karma bir özelliğe de sahiptir. Baloncuk uzayında ise, baloncuk hafıza modeli, farklı robot konumlarına ve farklı öznitelikleri tanımlayacak şekilde genişletilmektedir [47].

Sonuç olarak, ortak kullanımına karşı, topolojik haritaların tanımına ve nasıl oluşturulduklarına dair bir görüş birliği olmayıp, düğümler ile kenarların anlamları kullanılan öznitelikler veya uygulamaya göre değişebilmektedir [136].

C. Karma Modeller

Metrik ve topolojik gösterimlerin karakter olarak birbirinden oldukça farklı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Metrik haritalar, algısal sınırlar içindeki yapıyı belirttik olarak yakalarken, topolojik haritalar geniş alanın yapısını anlatır. Genel olarak metrik harita, oluşturulduğu her bölgede geometrik olarak çok detaylıken topolojik haritada çevrenin detaylarının eksik olduğunu söyleyebiliriz [160]. Bu sorunları çözmek için küçük ölçekte metrik gösterimin, büyük ölçekte topolojik haritanın kullanıldığı bir melez harita önerilmiştir [16], [94], [164]. Bu yaklaşımda, yerel metrik haritalar doluluk kafesi tabanlıdır. Topolojik haritalar ise düğüm ve kenarlarından oluşan çizgilerdir [40]. Her bir düğüm robot tarafından görülen bir yeri ifade eder ve içinde o bölgeye ait metrik bir yerel harita barındırır. Bu yaklaşımdaki önemli bir sorun, bu bölünmenin tam olarak nasıl yapılacağıdır. Bunun için farklı yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler, esasen çizge temelli yaklaşımlardır. Örneğin, alt seviyede bir metrik haritadan, izgel topaklama kullanılarak [19] veya çizge bölütleme uygulanarak, üst seviyede görsel tabanlı bir topolojik harita oluşturulmaktadır [182]. Ancak metrik haritalar büyüdükçe bu haritaların oluşturulması gittikçe zorlaşmaktadır. Buna alternatif olarak, ortamın metrik doluluk kafeslerini boş alanın ve ortamın bağlantı yapısının daha tıkHz bir gösterimini sağlayan Voronoi diyagramları önerilmiştir [61]. Ancak pratik uygulamada, bu diyagramların çıkarımları kolay değildir.

III. Harita Oluşturma ve Kullanım

Kendi başına harita oluşturabilme, önceden oluşturulan bir haritada yerini bulabilme veya yeni bir bölgeye girdiğini anlayarak harita güncellemesi yapabilme, robotların otonomisi için gerekli becerilerdendir. Bunun için, robotun sahip olduğu harita modeline uygun muhakeme yapabilmeye gerekir [160]. Bu muhakemeyi, üzerinde bulunan algılayıcılardan gelen ortam verileri ile, harita modelini kullanarak yapabilir. Bu konuda ilk problem, robotun kendi ortam veya konum bilgilerini, mevcut harita ile nasıl tümleştireceği ve bu tümleştirme çerçevesinde nerede olduğunu nasıl anlayacağıdır.

En basit yaklaşım ile, robotun odometri verisini kullanıp, parekete hesabı yaparak teker devir sayısına göre koordinatlarını belirleyebilir. Teker kayması gibi pek çok sorundan dolayı parekete hesabı kullanarak robot konumlanması düzgün bir şekilde gerçekleştirilemez [26]. Küresel konumlandırma sistemleri gibi mutlak konum sağlayan algılayıcılar ve ataletsel sistemler her ne kadar parekete bir alternatif öneriyor olsalar da, her zaman kullanılamayabilir [103]. Dolayısı ile, robotun kendi ortam bilgilerini çıkarabilmesi pek kolay değildir. Diğer bir husus ise, robotun konum bilgisini kullanmadan bu tümleştirmeyi yapması ve bulunduğu yeri anlamasıdır. Bu yapılırken, önceden hiç bilinmeyen ortamların da anlaşılması ve haritanın yeni bilgiler çerçevesinde güncellenmesi gerekmektedir.

Kullanılan algılayıcı türü ve harita modeline göre birbirinden farklı muhakeme yöntem mevcuttur. Algılayıcı bilgileri odometri, imgeler, uzaklık ölçümleri v.s. gibi verilerdir. Odometri bilgileri, hareket temelli, görsel veya karma olarak sağlanabilir. Yaklaşımlar, kullanılan harita modeline göre, geometrik, topolojik ve karma olarak gruplanabilirler [166]. Geometrik yaklaşımlarda, metrik haritalar ile muhakeme yapılır. Tipik olarak harita gösterimi için iki boyutlu bir doluluk kafesi ve robotun durum dinamiği kullanılır. Robotun konumu, harita koordinatlarına göre kestirilmeye çalışılır. Topolojik yaklaşımlarda ise bitişiklik diyagramı kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, robotun konumuna tekabül eden diyagram çizgesinin belirlenmesi hedeflenir. Melez yöntemler hem geometrik hem topolojik yöntemleri birleştirirler.

A. Geometrik Haritalar ile Muhakeme

Geometrik yaklaşımlar, metrik haritalar oluşturmaya, kullanmaya veya güncellemeye yönelik yaklaşımlardır. Genel olarak tüm geometrik yaklaşımlar, konumlandırma problemi ile birlikte ele alınır. Konumlandırma, robotun bulunduğu yerin tam olarak belirlenmesi problemi olarak tanımlanır. İkisinin birleşimi eşzamanlı konumlandırma ve haritalandırma (SLAM) sorunu olarak adlandırılır [43]. Gezgin robot konumlandırmasında, çoğu çalışma odometri girdisi kullanarak geometrik konumlandırma yapmaya odaklanmıştır [6], [7]. Önerilen yaklaşımlar, bölgesel ve tümel olarak ikiye ayrılır [146]. Bölgesel teknikler, robotun yön bulması sırasında oluşan odometrik hataları gidermeyi amaçlar. Bu tekniklerin başarımlarından biri robotun ilk konumunun yaklaşık olarak bilinmesi gerekliliğidir. İkinci bir husus ise, robotun konumu kaybedildiğinde tekrar bulunmasının garanti edilememesidir. Bölgesel tekniklere alternatif olarak geliştirilen tümel yöntemlerde amaç, robotun ilk konumu hakkında kesin bir bilgiye sahip olmadan konumunun belirlenmesidir [55]. Örneğin, robotun kendisi tarafından bilinen konumundan alınıp hiç bilmediği, tamamen farklı bir ortama konduğu kaçırılmış robot problemlerinde konumun tekrar bulunmasını mümkün kılar. Buna koşut olarak, bir şekilde harita eşleme ya da nirengi noktası belirlenmesinin yapılması gerekmektedir [59].

Muhakeme sürecinde kullanılan nirengi noktalarının, kamera ile elde edilen imgelerden çıkartılabileceği düşüncesi ile, görsel bilgi tabanlı SLAM yaklaşımları önerilmiştir. Bu yaklaşımları iki ana grupta toplamak mümkündür [104]: i) Öznitelik tabanlı ve ii) Görünüm tabanlı. Öznitelik tabanlı

SLAM'de özniteliklerin yerleri kestirilir ve önceden oluşturulan bir öznitelik gözlemlenerek bir döngü kapama gerçekleştirilir [15]. Öznitelik tabanlı yaklaşımların, özniteliklerin durumlarını kestirme gerekliliği ve hangilerinin seçileceğine karar verilmesi gereksinimi bulunmaktadır. Görünüm tabanlı SLAM'de ise, algılayıcı verisinin alındığı yerlerdeki robot konumları kestirilir. Robotun bağlı konumunun kestirimi, farklı iki zamanda alınan veri kümesi kullanılarak yapılır.

Her iki yaklaşımda da, genel olarak konumu kestirmek için olasılıksal çıkarım yasaları uygulanmaktadır [17]. Bu yasaların uygulanabilmesi için, robot hareketi ve algılayıcı belirsizlikleri modellenir. Ne var ki bu modellerin oluşturulması her zaman mümkün olmayabilir. Buna ek olarak modeldeki gürültünün karakteristiğini belirlemek için otomatik olmayan ölçümlerin yapılması zaman alabilir [17].

Yaklaşımların çoğunda muhakeme yöntemi Bayes filtresi veya türevleri (Kalman, genişletilmiş Kalman, Parçacık filtresi v.b.) temellidir. İlk önerilen muhakeme yöntemlerinden biri, artımlı en büyük olasılık temellidir [115], [178]. Bu yöntemde, veri geldikçe, en yüksek olasılıklı robot konumu ve harita Bayes marjinal olasılığının en büyük değeri bulunarak güncellenir. Hesapsal yükü azdır, ancak belirsizlik kavramına sahip değildir. Haritalamada, robotun hareket modelini kullanarak, doğal özniteliklerin seyrek kümesini ve bilgi rehberli aktif ölçüm stratejisini temel alırlar. Ancak tüm bu çalışmalara rağmen, Kalman filtresi ile ilgili aşağıda özetlendiği şekilde bazı sorunlar bulunmaktadır:

- Hesapsal yükün fazla olması nedeni ile gerçek zamanlı uygulamalarda yavaş olabilmektedir. Robot hareket ederken gerçek zamanda ancak sınırlı sayıda öznitelik ele alınabilir. Öznitelik sayısı N olan bir haritada, her yinelemede N^2 parametre içeren matrislerin çarpma ve tersini alma gibi işlemlerin yapılması gerekmektedir [114].

Veri ilişkilendirmesi, Kalman Filtresinin konum kestirimleri için kritik öneme sahiptir. Robotun hareketi sırasında, bir önceki konumda algılanan öznitelikler, yeni konumda algılanan özniteliklerle doğru bir şekilde ilişkilendirilemezse, konum kestirimlerinin başarımı önemli ölçüde düşer. Veri ilişkilendirmesi, ileride III-C nolu kısımda anlatıldığı üzere kendi başına bir alt problemidir.

- Bir başka önemli zorluk ise aynı öznitelikleri farklı yerlerden gözlemlemekten kaynaklanan tutarsız doğruların olmasıdır [53]. Kalman filtresi, mevcut durumun gözlemi hakkında doğruların yapar. Durum evrildikçe, ölçümlerin doğruların farklı noktalarla olacaktır. Bu da yinelemenin sonucunda ortaya çıkan haritada tutarsızlıklara yol açar [5].
- Kalman filtresi yaklaşımları gürültü eklenmiş özel durumlara dayanırlar, pratikte ise nadiren bu özel durumlar oluşur.
- Dinamik ortamlarda başarımları oldukça düşüktür [160].

Hesapsal yükün azaltılmasına yönelik olarak geliştirilen yaklaşımlar esasen, robot konum ve nirengi noktaları üzerinden sonsal dağılımı, çarpanlarına ayırıp özyineli olarak hesaplayan yöntemlerdir [114]. Daha yeni çalışmalarda, robotun yörüngesini gösteren bir parçacık kümesi kullanılmakta ve her öznitelik bir küçük genişletilmiş Kalman filtresi ile ilişki-

lendirilmektedir [109].

Bu sorunlardan dolayı geometrik yaklaşımlarda başka muhakeme yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan biri beklenti enbüyütme yaklaşımıdır [37]. Bu yaklaşım, Kalman filtresinden farklı olarak, doğrudan veri ilişkilendirme üzerinde odaklanır [38]. Beklenti enbüyütme temelli muhakeme ile, veriler birbirine benzese bile, tutarlı haritalar oluşturulabilir. Bu yaklaşımda, düzleme ve haritalama yaklaşımı, bilgi matrisi temelli olup, döngülü en az kareler eniyilemesi yaparak en optimal robot konum ve özniteliklerin durumlarının kestirimini yapmayı amaçlar [39]. Seyrek genişletilmiş bilgi filtreleri kullanılarak, hesap yükü azaltılmaktadır [7]. Aslında, burada hesaplanan bilgi matrisi, genişletilmiş Kalman filtrelerindeki ortak değişinti matrisinin tersidir [59]. Bilgi matrisi temelli SLAM'deki temel zorluk, tüm veriyi çok defa işleme gereksinimleri olduğundan, Kalman filtrelerinde olduğu gibi haritaları artımlı bir şekilde oluşturamazlar [160]. iSAM filtresi yaklaşımı tüm sistem için bir bilgi filtresi kullanır ve etkili bir çarpanlara ayırma metodu ile filtrenin hızlı artımlı güncellenmesini sağlar [81]. Bilgi matrisinin ayrışmasının güncellenmesinde, sürekli tekrarlanması gereken yüksek maliyetli çarpanlara ayırma işlemi Cholesky çarpanlarına ayırma yöntemi kullanılarak basit hale getirilse de, işlem hala gerçek zamanlı değildir [104].

B. Topolojik Haritalar - Yer Tanıma

Alternatif olarak topolojik haritalar ile muhakemede, anahtar öge yer tanıma modülüdür [166]. Önceden öğrenilen yer tanımlamalarının yerleri temsil ettiğini varsayarak, yer tanıma modülünün amacının mevcut algılama bilgisine en çok benzeyen, önceden öğrenilmiş yeri bulmak olduğunu söyleyebiliriz [165]. Robot her çevrimde, konumu daha önce kaydedilmiş olan görüntü haritasını kullanır. Konumlama sorunundan farklı olarak, tanıma daha önceki konumu hakkında her hangi bir bilgi verilmeden yapılmaya çalışılır. Bunun için genel olarak eniyileme yöntemleri veya destek vektör makineleri gibi standart bir örüntü tanıma yöntemleri kullanılır.

Görünüş tabanlı yaklaşımlarda ise, daha tıkkız betimleyiciler kullanıldığından, zamansal gereksinimler daha az inebilmektedir. Önerilen yöntemler, kullanılan yer tanımlayıcısına göre değişmektedir. Örneğin, ana bileşenler analizinin kullanıldığı [93]'de, öznitelikler için robot konumuna bağlı olarak olasılıksal yoğunluk işlevi tanımlanarak, bulunulan yer, sonsal yoğunluk işlevinin en büyük olduğu konum olarak tanımlanmaktadır. Kelime çantası kullanan yaklaşımlarda ise harita, görsel kelimelerin oluşumunun yüksek ilintiye sahip olacağı düşüncesi ile, ağaç yapısına sahip bir Bayes ağının Chow Liu algoritması kullanılarak öğrenilmesi ile oluşturulur [28]. Bu yapı, kelime oluşumlarının ikili dağılım kestirimine ek olarak, çok geniş kelime dağarcığına sahip durumlarda, verimli öğrenme ve karar vermeyi sağlar. Bu çerçevede, topolojik SLAM problemi, metrik SLAM problemlerine benzer şekilde, özyineli Bayes kestirim problemi olarak tanımlanmaktadır [28], [29]. Bu yaklaşımın hesapsal olarak çok yüklü olduğu düşüncesi ile, Bayes hesabı yerine, iskelet gösterimi kullanılarak, döngü kapama için kullanılacak görüntü sayısının kısıtlanması sağlanır [91], [92]. Sözlük ağacı, yeni eklenen görüntülerle birlikte binlerce iskelet arasında mümkün olan eşleşmeler için etkili bir filtre oluşturulmasına olanak sağlar [126]. Yer gösterim-

lerinin parmak izi olarak tanımlandığı çalışmalarda ise, dizi eşlemesi minimum enerji optimizasyonu yapılarak gerçekleştirilir [96]. Metrik doluluk kafesi, topolojik bir model olan Voronoi diyagramına çevrildikten sonra, her noktayı, koşullu rastsal bir alanın düğümü olarak tanımlamak sureti ile oluşan Voronoi rastsal alanı, hem haritadan hem de Voronoi topolojisinden gelen öznitelikleri birleştirerek her düğümün hangi yeri tanımladığı kestirilir [61]. Alternatif bir yaklaşımda, AdaBoost makine öğrenme algoritması kullanılarak yapılan bir sınıflayıcı, lazer imzalarından alt harita diyagramlarını çıkartarak yer tanıma için eğitilmiştir [19].

Görüldüğü üzere, topolojik haritalarda muhakeme en önemli husus yer tanıma modülüdür. Sunulan deneysel sonuçlarda, önerilen sistemlerin farklı ışıklandırma ve dinamik ortam durumlarındaki performansları sunulmakta ve başarımın farklı derecelerde etkilendiği gözlenmektedir [165], [176], [170]. Yer tanıma açısından, ölçeklenebilirlik, aydınlatma ve hareketli nesnelere gibi dinamik değişkenlere karşı dayanıklılık halen zorlu sorunlar olmaya devam etmektedir.

C. Veri İlişkilendirme

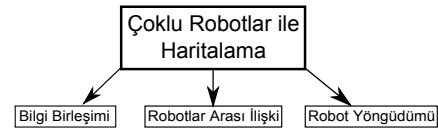
Bütün görünüm veya görünüş tabanlı yaklaşımlarda ortak problem, veri ilişkilendirme sorunudur [158]. Veri ilişkilendirme, mevcut ortamdaki nirengi noktaların haritadaki nirengi noktaları ile eşleştirilmeleridir. Bu şekilde yeni nirengilerin belirlenip haritaya eklenmesi sağlanırken aynı zamanda varolan nirengilerin konumlarının daha iyi kestirilebilmesi de mümkün olur. Veri ilişkilendirmesi için kullanılan ve detayları aşağıda açıklanan üç temel yaklaşım vardır [172].

- Haritadan haritaya olan yaklaşımlarda, iki alt haritanın özniteliklerindeki benzeşme, hem görünümüne hem de bağlı konumlarına bakılarak bulunur. Buradaki problem, olası olmayan ortak özniteliklerin benzer olabilmesindedir. Küme kuramsal [42], değişken ölçekli ve geometrik uyumlu dallan ve sınırla algoritması [27] gibi farklı yaklaşımlar önerilmektedir.
- İmgeden imgeye yaklaşımlarda, kameradan alınan son imge ile önceki görülen imgeler arasında bir benzeşme bulunur [28]. Özniteliklerin ayırt edici olmalarına dikkat edilir. Bu yaklaşımdaki sorunlardan en önemlisi, karşılaştırma için oluşturulan imge sözlüğünün önceden iyi bir şekilde öğrenilmesi gerekliliğidir.
- Son olarak, imgeden haritaya olan yaklaşımlarda, kameranın son karesi ile haritadaki öznitelikler arasında bir benzeşme aranır [172]. Örneğin, mevcut imgede harita öznitelikleri ile olası benzeşmeler bulunur ve Ransac tabanlı bir 3 nokta algoritması kullanılarak kameranın haritaya göre konumu belirlenir [104]. Bu yaklaşım yoğun hafıza gerektirdiğinden, gerçek zamanlı uygulamalarda uygulanması zordur.

Tüm bu çalışmalara rağmen, gerçek zamanlı kullanımda, veri ilişkilendirilmesi hala sorunludur ve başarımının artırılması ve hızlandırmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir.

IV. Çoklu Robotlar ile Haritalama

Çoklu robotlar ile harita çıkarımı ve kullanımı, birden fazla robotun seçilen model çerçevesinde, bulunulan ortamın haritasını nasıl oluşturacakları, ilgili hareket ve iletişim yöntemleri ile ilintilidir [30], [173]. Bir yerin otonom olarak haritalandırılması, çoklu robot sistemleri kullanılarak ve her bir



Şekil 2: Çoklu robotlar ile haritalama problemleri.

robotun farklı bir bölgede çalışması sağlanarak hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir [54], [160]. Bu alandaki çalışmalar 90'lı yıllardan beri devam etmektedir. Çoklu robotlarda, tek robot ile haritalamadaki gösterim, algılayıcı verileri ve muhakeme problemlerine ek olarak, yeni problemlerin çözülmesi gerekmektedir [85]. Bunlar, Şekil 2'da gösterildiği üzere, bilgi birleşimi, robotlar arası ilişki ve robot yöngüdümlüdür.

A. Bilgi Birleşimi

Bilgi birleşimi, birden çok robottan gelen verilerin birbiriyle uyumlu ve verimli bir şekilde birleştirilip işlenmesidir. Yapılan çalışmalarda genel olarak iki yaklaşım kullanılmıştır [11]: Çoklu robotlarda eşzamanlı konumlama ve haritalama ve harita birleştirme.

A.1 Çoklu Robotlarda Eşzamanlı Konumlama ve Haritalama

Tek robotlarda eşzamanlı konumlama ve haritalama konusundaki gelişmeler ve alınan başarılı sonuçlar, kullanılan yöntemlerin çoklu robotlara aktarılmasına imkan vermiştir [117]. Tekli robotlar için geliştirilen yaklaşımlar genel olarak metrik haritalama ve yorumlama yöntemleri üzerine kuruludur [161]. Ancak, çoklu robotlara özgü, birden çok bilinmeyen robot konumu, harita birleştirme ve ölçeklenebilirlik gibi problemlerin çözülmesi gerekmektedir [31].

Robotların birbirlerine göre olan konumlarının belirlenmesi veya kestirilmesi için, bir robotun diğer bir robotun haritasındaki konumunu veya tümel haritadaki konumunu bulabilmesi gerekmektedir. Bir robotun diğer robota göre olan konumu, açısız, uzaklık, yönelim veya bunların birleşimi şeklinde ölçülebilir [107]. Bunun için, iki farklı yaklaşım uygulanabilmektedir. İlki, her iki harita arasında bir koordinat dönüşümü bulmaktır [135]. Gerekli olan bir diğer bilgi ise, iki harita üzerinde aynı olan nirengi noktalarını belirlemektir.

Çoklu robotlar için eşzamanlı konumlama ve haritalama probleminde ise genel yaklaşım, Bayes filtresi, genişletilmiş Kalman filtresi veya parçaçık filtresi gibi yaklaşımları kullanarak, geometrik yorumlama üzerine kuruludur. İlk çalışmalardan biri olan [63]'de, doluluk kafeslerinin bilgileri, gelen algı bilgilerine dayalı olarak Bayes kuralı ile güncellenir. Yine, [41]'de Kalman filtresi çoklu robot takibi için kullanılmaktadır. Bundan sonra bir dizi çalışmada, genişletilmiş Kalman filtresi yaklaşımı, işbirlik [50], dağıtık karar verme [141], dağıtık işbirlik [22], [103], dağıtık konumlama ve haritalama [159] ve yol tanıma gibi özel durumlarda uygulama [151] gibi farklı çalışmalarda temel alınmıştır. Ancak, çoklu robot uygulamalarında, Kalman filtresi kullanımı ile ilgili önemli sorunlar bulunmaktadır [11]:

- Her bir ölçüm tüm Gaussian parametrelerini etkilediğinden, güncelleştirmeler uzun sürmektedir. Her bir güncelleme adımında, bütün robotlar birbirleriyle iletişim halinde olup kendi haritalarındaki konum güncelleştirmelerini diğerleriyle

paylaşırlar. Eğer robot sayısı N olarak tanımlanırsa, bu $O(N^2)$ kadar ek hesaplama yükü getirmektedir. Robotlar arası konum ölçümü sayısının $N(N - 1)$ mertebesine kadar çıkabileceği düşünülürse, hesaplama yükü $O(N^4)$ olmaktadır. Bu hesaplamalar her bir robota eşit bir şekilde dağıtılsa bile, hesaplama yükü $O(N^3)$ olmaktadır. Bahsedilen hesaplama yükleri, gerçek zamanlı uygulamalar için önemli bir engel teşkil etmektedir [122].

- Çok büyük haritalarda, genişletilmiş Kalman filtresi tabanlı yaklaşımlar için kestirim sapmaları artmaktadır. Doğrusal olmayan sistem ve algılama modellerinin doğrusallaştırılması, bu sapmalara neden olabilmektedir [145].
- Çoklu robotlarda bu filtreleri dağıtık bir şekilde kullanmak kolay değildir.

Çoklu robotlar için eşzamanlı konumlama ve haritalama için ikinci bir yaklaşımda beklenti en büyütme tabanlı algoritmalarıdır [11], [70], [85]. Kalman filtresi metodlarından farklı olarak, beklenti en büyütme tabanlı yöntemlerde en muhtemel harita çıkarılmaktadır. Bu yaklaşım ile haritalamanın avantajlarından birisi, bilgi eşleştirme problemine karşı dirençli olmasıdır. Bu sayede, büyük ölçekli haritalar başarıyla oluşturulabilmektedir. Bu yöntemin olumsuz yanlarından biri ise, haritanın artımlı olarak çıkarılamamasıdır. Bu durum, beklenti en büyütme tabanlı yöntemlerin yapısından kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, robotların başlangıç konumlarının birbirlerine göre yaklaşık olarak bilinmesi gerekmektedir. Beklenti en büyütme algoritmasının dağıtık bir versiyonu [145]' de geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, doğrusal olmayan eniyileme problemi, N tane robot sayısı kadar alt probleme bölünmüştür. Bütün robotlar, belli aralıklarla konum tahminlerini diğer robotlarla paylaşırlar. Buna benzer bir diğer çalışmada, robotların göreceli konum bilgilerini tümleştirmeye yönelik bir ayrık algoritma önerilmiştir [88]. Bu yaklaşımların en önemli eksiği, algoritmanın bir minimuma yakınsama garantisinin olmamasıdır.

Bu alandaki çalışmaların bir çoğu için geçerli olan bir diğer husus, robotların birbirlerine göre konumlarının hesaplanmasında bazı varsayımların yapılmasıdır [89]. Bazı çalışmalar, başlangıçta göreceli konumların verildiği varsayımını yapmaktadır [20], [50], [121], [153]. Diğer bir yaklaşımda ise, robotların başlangıç konumlarının bilinmediği ancak herhangi bir robotun kesinlikle başka bir robotun görüş alanında konumlandırıldığı varsayılmıştır [85]. Bu sayede, robotlar arası ilk karşılaşmanın konum bulmaya yeterli olacağı ve bundan sonraki karşılaşmaların önemli olmadığı belirtilmiştir [73]. Robotların tamamen bilinmeyen yerlerde başladıkları ve haritalarında hiç kesişen bölge olmayabileceği varsayıldığı, az sayıda da olsa, çalışmalar bulunmaktadır. Bu tip bir başlangıç koşulunda, bir robotun kendi haritasında parçacık süzgeci filtresi ile diğer robotların konumlarını bulması [89], Gaussian Markov rastgele alan temelli seyrek genişletilmiş bilgi filtreleri [161] ve karekök bilgi düzlemesi kullanılarak haritalar arasındaki eşleştirmenin yapılması [5] gibi yaklaşımlar önerilmektedir. Ancak, tümel haritalar eksikli olabileceğinden ve robotların bireysel haritaların kesişmesi garanti edilmediğinden, mekanların bilinmeyen kısımları ön bilgilere dayalı olarak kestirilmesi durumu oluşmakta ve bu da sorun yaratabilmektedir.

İkinci bir problem, haritalar arasında veri eşleştirmedir. Bunun

için robotların ortak referans noktaları belirlemesi gerekir. Bu noktalar insan eliyle verilmekte veya yerel imge tanımlayıcıları kullanarak belirlenmektedir. Eğer bu ortak referanslar dikkate alınmaz ve robotlar haritalarının birbirinden bağımsız olduğunu varsayarsa, haritaların üst üste binen yerlerinde kaymalar olmaktadır [74]. Oluşabilecek bu tutarsızlıkları önleyebilmek için, 2 boyutlu haritalar yerine manifold temelli harita gösterimi önerilmiştir [72], ancak manifoldun gösteriminde zorluklar bulunmaktadır.

Sınırlı iletişim durumunda iletişim ağının yönetilmesi ve grup içinde yapılacak işlemlerin paylaşılması da düşünülmesi gereken diğer hususlardır. İletişim ve karşılıklı bilgi paylaşımı, müşterek robot takımları için önemlidir. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar, özellikle de durum kestirimi konusunda, son derece sınırlıdır [83].

Mevcut yaklaşımların, varsayımlar çerçevesinde, başarılı sonuçlarına rağmen, bazı durumlarda bu yaklaşımlar hızlı bir şekilde sonuca ulaşamamaktadırlar [125]. Haritalanacak olan alanın büyümesi veya algılamalardaki gürültü sonuç almayı geciktirmekte ve bazen sonuç alınmasını engellemektedir.

A.2 Harita Birleştirme

Harita birleştirme problemi, akademik çalışmaların yoğunlaştığı bir diğer konudur. Bu problemde, eşzamanlı konumlama ve haritalama probleminin farklı olarak robotlar, kendi başlarına ve diğer robotların konumu hakkında bilgi sahibi olmadan yerel haritalarını oluşturmaktadırlar. Buradaki amaç, robotların çalışma alanlarında oluşan bu haritalardaki kesişen bölgeleri bulup haritaları birleştirmektir [90]. Bu problem, kesişen birden çok imgenin düzenlenmesini içeren imge dikileme problemine benzemektedir. Bu konudaki sınırlı sayıdaki çalışmaları, haritanın gösterim yöntemine göre iki gruba ayırabiliriz. Birinci grup yaklaşımlar doluluk kafesi ile haritalama veya öznitelik tabanlı haritalama gibi geometrik tabanlı yöntemlerdir [113]. Doluluk kafesi haritalarında harita birleştirme problemi, haritayı bir imge gibi diğer haritalar üzerinde kaydırarak ortak noktaların tespit edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır [11]. Benzerlik ölçümü için, eşleştirilen yerlerin Öklid uzaklığı ortalaması, Hausdorff uzaklığı veya diğer başka metrikler kullanılabilir. Yaklaşımlardan bir kısmı ise, imge tescilleme problemlerinde sıkça kullanılan dürümsel enyakin nokta yaklaşımından esinlenerek geliştirilmişlerdir. Dürümsel enyakin nokta yaklaşımında, verilen iki veri seti arasındaki benzer noktaların arasındaki farkın karesini minimize eden dönüşüm parametreleri bulunur [10], [180]. Bulunan parametreler kullanılarak tekrar birbiriyle aynı olan noktalar kestirilir ve yeni bir parametre seti elde edilir. Algoritma, parametrelerdeki değişim belli bir eşğin altına düşene kadar bu işlemi sürdürür. Öznitelik tabanlı haritalamalarda ise iki haritadaki aynı özniteliklerin ve sabit işaretlerin bulunması için, benzer yöntemler kullanılmaktadır [11].

Geometrik tabanlı yöntemlere alternatif olarak geliştirilen topolojik yaklaşımlarda ise, harita birleştirme problemi, birden fazla çizgenin eşleştirilmesi problemine benzer [130]. Topolojik harita birleştirme yöntemleri, temel olarak, birbiri ile eşleşmiş düğüm veya düğümleri kullanarak iki harita arasındaki dönüşümü hesaplar. Bunun için, hipotez reddi üzerine kurulu [74] ve buluşsal [11], [36] gibi farklı yaklaşımlar vardır. Ancak çoğu çalışmada, farklı iki haritanın büyük

oranda kesiştiği ve haritalarda fazla oranda belirsizlik olmadığı varsayımları yapılmıştır. Bunlara ek olarak, yapısal öznetelikler kullanılarak geliştirilen alt çizge eşleştirme yöntemleri de mevcuttur [74]. Eğer bir robotun topolojik haritası, geometrik ve görsel bilgiler içeriyorsa, bu bilgi, robotun kendi referans koordinatlarına göre düğümlerin yerlerinin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Bu durum, harita birleştirme probleminin daha önce belirtildiği gibi imge tescilleme yöntemleri kullanılarak çözülebileceğini gösterir.

Bu konuda üçüncü bir yaklaşım da, karma haritalar kullanılarak bilginin birleştirilmesidir. Robotların, metrik harita kapsamlarının örtüşmediği varsayılarak, her robotun yerel haritası bir çizge düğümü olarak düşünülür ve bunlar arasındaki kenar etiketleri ile olan dönüşümler ve ilintili belirsizlikler, bir eniyileme problemi olarak çözülmektedir [31].

B. Robotlar Arası İlişki

Çok robotlu sistemler için önemli diğer bir husus, robotlar arasındaki ilişkidir. Örneğin, birden çok robottan sağlanan haritaların birleştirilmesi, robotlar arası ilişkiler vasıtasıyla yapılabilir. Bu husus, hangi bilgilerin nasıl paylaşılacağı konusunda içermektedir. Robotların birbirleriyle olan ilişkileri, olası karşılaşmalarda birbirlerini algılamalarına [54], iletişim kullanarak haberleşmelerine veya hem algılama hem de iletişim kullanmalarına [145] bağlı olarak farklılaşmaktadır.

Robotların birbirleri ile karşılaşması, doğrudan veya dolaylı bir şekilde olabilir. Bir robotun, diğer bir robotu algılayıcıları vasıtasıyla görmesi ve tanınması, doğrudan karşılaşma olarak tanımlanmaktadır [85]. Bu durumda, karşılaşan robotlar birbirlerini kendi haritalarında konumlamaya çalışırlar. Bunun gerçekleşebilmesi için robot üzerinde metrik konum ölçülebilen algılayıcılar (lazer, sonar, v.s.) bulunmalıdır. Dolaylı karşılaşmalar ise, robotların birbirlerini görmeden ortamdaki ortak bir noktayı gözlemlemesi durumunda olur. Bu gözlemler farklı zamanlarda gerçekleşmiş olabilir. Bu durumda, konum kestirimi için bazı metrik koşullar oluşmuş olur ve bu sayede robotlar birbirlerinin konumunu göreceli olarak kestirebilirler.

Aslen birçok çalışmada, robotlar arasındaki karşılaşmalar için özel bir strateji belirlenmeyip, bilgi paylaşımı, robotların rastlantısal karşılaşmalarında yapılmaktadır. Örneğin bazı yaklaşımlarda, bir robot, diğer bir robotun konumunu kamera ve lazer algılayıcısı ile belirledikten sonra iletişim kurulmakta ve bilgi paylaşımı yapılmaktadır [54], [75]. Bir başka çalışmada ise, robotlar birbirinin görüş sahası içine girdiklerinde uzaklık ölçümü yaparak, bu bilgiyi diğer tüm robotlara yayımlarlar [71]. Bazı çalışmalarda ise, robotlar bir randevu stratejisi ile kendileri için ortak olduğunu düşündükleri noktalarda karşılaşmayı amaçlarlar [45], [138]. Bu yaklaşımlarda, robotlar diğer robotların kendi haritalarındaki konumları hakkında hipotezler üretirler. Bu hipotezlerin doğruluğunu kanıtlamak için robotlar arasında randevu noktaları seçilir. Eğer bu randevu noktalarında başarılı bir şekilde buluşurlarsa, haritalarını birleştirip ortam keşfini birlikte sürdürmeye devam ederler. Bu yaklaşımlardaki kısıtlayıcı unsurlardan biri, robotların birbirleriyle konum hipotezlerini paylaşmak için sürekli iletişimde olma zorunluluğudur. Bu durum, yüksek bant genişliği gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Dolayısı ile daha çok kısa menzilli iletişimin olduğu durumlar için uygundur. Bir diğer unsur

ise, robotların, hipotezlerin doğruluğunu sağlayamaması durumunda devamlı olarak yeni hipotezler üretip asıl görevden sapma durumunun oluşmasıdır. Bir başka çalışmada, robotlar iki gruba ayrılıp birbirleri için taşınabilir nirengi işlevi görmektedirler [95]. Bu işlevde, bir grup robot hareket ederken diğer grup sabit durup nirengi olmaktadır. Bu işlem görev tamamlanmaya kadar sürdürülmektedir. Bu yöntemin avantajı, robotların başlangıç konumları ve haritalardaki kesişen bölgelerinin olmaması gibi varsayımlara gerek duymamasıdır. Ancak, robotların nirengi görevi görmesi onların hareketlerini kısıtlamaktadır.

Robotların elde ettikleri bilgileri paylaşabilmeleri için birbirleriyle iletişimde olmaları gerektiğinden, robotlar arası iletişim de bir diğer önemli husustur [56]. İletişim yapısı, merkezi, dağıtık veya karma olabilir [100]. Merkezi yaklaşımlarda, robotlar bilgilerini bir bilgi birleştirme merkezine iletirler. Bu merkezde, gelen bütün bilgiler işlenerek, ortak yapı oluşturulur. Dağıtık yöntemlerde ise merkezi birleştirme birimi olmaksızın tüm robotlar bilgi üzerindeki işlemleri kendileri yaparlar [41], [50], [111], [122]. İletişimde bir diğer önemli husus, robotlar arasındaki iletişim stratejisi ve buna dayalı olarak oluşan iletişim ağıdır. Yapılan çalışmaların çoğunda, iletişimin bir şekilde sağlandığı varsayılmıştır. Fakat, genel olarak varsayılan, herkes ile sürekli iletişimde olma yaklaşımı, çok fazla kanal kapasitesi gerektirmesi nedeniyle veya başka bir takım sınırlamalardan dolayı her zaman mümkün olmayacağından, gerçekçi bir varsayım değildir [98]. Bu çerçevede, robotların kimler ile nasıl ve ne zaman iletişime gireceği ve hangi bilgileri paylaşacağı, üzerinde çalışılması gereken önemli bir konudur [168]. İletişim ağlarındaki son gelişmeler, birbirlerine uzak mesafelerde bulunan dinamik sistemlerin veya robotların oluşturduğu ağ üzerinden koordineli olarak dinamik görevleri yerine getirmeye olanak vermektedir [24]. Bu perspektifte, çoklu robot sistemleri karma yapıya sahiptirler. Bu karma yapının sürekli kısmı robotların durumları ile ilgilidir. Ayrık kısım ise robotların birbirleriyle olan etkileşimleriyle tanımlanmaktadır [23], [101], [102]. Karma sistemler için önerilen bu modeller önemli ölçüde sistem gereksinimlerinin tipine bağlıdır [132], [174]. Sürekli durumlar ile ayrık etkileşimler arasındaki ilişki çizge ağlara dayandırılmaktadır [112], [118], [144]. Robotların durumlarının ve ilgili ağın ayrı fakat bağlı olarak geliştiğinde, ağ gelişimiyle ilgili stratejiler dikkate alınmaktadır [169]. Eşzamanlı kontrol ve iletişim yapan robotlar için zaman ve iletişim karmaşıklığı tanımları geliştirilmiştir [108].

Alandaki çalışmaların birçoğu, daha önce bahsedildiği üzere, robotlar arasında tam bağlı bir ağ olduğunu ve robotların birbirleriyle karşılaştıklarında, dolaylı veya doğrudan, aralarındaki iletişimin yüksek bant genişlikli ve iki yönlü olduğunu varsayar [148]. Bu durum iletişimin kısıtlı olduğu durumların göz ardı edilmesine neden olmaktadır [85], [152]. Halbuki, sınırlı iletişime sahip robot sistemleri daha gerçekçidir [60], [116], [149]. Buna yönelik olarak, iletişimde uzaklık tabanlı modülasyon önerilerek, robot çiftleri aralarındaki uzaklıkla doğru orantılı olan bir frekansta iletişim kurmaktadır [86]. Uzaklık bilgilerinin bilinemediği durumlarda, farklı bir yaklaşım uygulanarak az sayıdaki robotlara hareket ve iletişim yapmalarına izin verilirken, diğer robotlar hareketsiz durmaktadır. Bir başka yaklaşım ise, oyun kuramsal yaklaşımdır [76],

[171]. Çoklu üstlenici ağlarda, her bir üstlenicinin kazanç ve maliyet arasındaki çatışma doğal olarak oyun kuramsal formülasyona götürmektedir [79]. Mevcut araştırmalardaki temel yaklaşım, oyuncuların kendi stratejilerini diğer oyuncularından bağımsız olarak ele aldıkları, işbirlikçi olmayan oyunlardır [142]. Alternatif olarak, işbirlikçi oyun kuramı da oyuncuların bağlantı kurma ve koparma kararının ortak verildiği ağ formasyonları için kullanılmaktadır [66], [142]. Birçok koalisyon oyununda, oyuncular birbirlerine bağlı ve bir çizgedeki ikili bağlantılar üzerinden iletişim yaptıklarından, bağlı çizgelerde her bir koalisyonun değeri çizge yapısına bağlı olmak üzere koalisyonlar üzerine haritalanmaktadır [76], [120]. Koalisyon oyunlarının ortamsal değişimlere maruz kalabildikleri bilinmesine rağmen [142], muhtemelen model ve objektiflere bağlı olmasından dolayı dinamik koalisyonlar daha az çalışılmıştır. Ancak, ağ oyunlarının çoğu oyuncuların dinamik yapısını dikkate almamaktadır. Oyuncuların görev dinamiği ile ağ dinamiği arasındaki ilişkiler hala az çalışılmış bir konudur. Grubumuzun bu konudaki çalışmaları öncü olup, robotların kendi işlerini yaparken, aynı zamanda diğer robotlar ile iletişimlerini tanımlanan son kazanç açısından optimize edebilmek için oyun kuramsal bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir [8], [9]. Ancak, ortamın keşfi ve haritaların paylaşımı daha farklı stratejiler gerektirecektir. Zira robotlar hareket ederken, iletişim kararları, alınan bilginin en fazla olması, hareket kurgusuna uygunluk ve robotlar arasındaki girişimin en aza indirilmesi gibi farklı kriterler içerecektir.

C. Robot Yöngüdümü

Ortam algılama ve haritalama üzerine yapılan çalışmalarda odaklanılan diğer bir husus, robotun nasıl hareket edeceğidir. Robot yöngüdümü, robotların haritalama görevini verimli bir şekilde tamamlamaları için ne şekilde hareket edeceklerine odaklanmaktadır. Tek veya çok robotlu sistemlerde harita ile ilgili yapılan birçok çalışmada, hareket, önceden belirlenen patikalar doğrultusunda veya sistem dinamiğine göre yapılmaktadır. Halbuki, harita uygulamalarında çözülmesi gereken önemli bir problem, robotların buldukları ortamda etkin bir şekilde hareket etmeleri ve etrafı keşfedebilmeleridir. Bu çerçevede, iki alt problem robotların nereye ve nasıl gidecekleridir. Yaklaşımlar, eşgüdümsüz ve eşgüdümlü olarak sınıflandırılabilir. Eşgüdümsüz yaklaşımlarda, her robot kendi başına, örneğin en yakın mesafe gibi kriterlere göre hedefini tespit eder. Eşgüdümlü yaklaşımlarda ise, merkezi bir eşgüdümlü veya iletişim ile, her bir robota atanacak keşif bölgeleri belirlenerek, robotların eşzamanlı olarak farklı bölgeleri taramaları sağlanmaktadır [21]. Hedeflerin robotlara dikkatlice atanması önemlidir, zira hem gereksiz iş yükü azaltılır hem de robotlar arasındaki çakışma en aza indirgenebilir [157]. Sıkça kullanılan yaklaşımlardan birinde, robotlara keşfedilmiş ve keşfedilmemiş bölgeler arasındaki sınırlar bildirilmektedir [179]. Robotlara atanacak potansiyel hedef noktalar dizisini seçmek amacıyla açık artırma tabanlı yaklaşımlar da önerilmiştir [150], [183]. Bir başka yaklaşımda hedefler, diğer robotlar tarafından görülebilirliğine dayanan yararlılığı ile bu hedefe varabilmek için gidilmesi gereken mesafeye dayalı maliyet arasındaki ödünleşimi, eniyileştirmeye dayalı olarak belirlenmektedir [21]. Ortamın yapısının bilindiği durumlarda, robotlara hudut hedefleri yerine alan bölümleri atanmaktadır

[177].

Her robotun kendisine atanan alanı kapsayabilmek için kullanıldığı yaklaşımlar, tek robotlu yaklaşımlara benzer bir şekilde, buluşsal ve rastlantısal tabanlı [115], tam hücreli ayrışım tabanlı [1], [2] ve yaklaşık hücreli ayrışım tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Yapılan çalışmaların neredeyse tamamı, yöngüdümlü problemi, hedef kararlaştırma probleminden ayrı olarak ele almaktadır. Dikkate değer istisnalar [139], [143]'dür. İlk çalışmada, takipçi robotların gizilgüç alan formülasyonuna göre hareket ettikleri lider takip metoduna dayanan bir yaklaşım önerilmiştir. Buna paralel olarak, hareket ve keşif konusunun yine genel olarak metrik harita bazlı yaklaşımlar çerçevesinde yapıldığı görülmektedir [44]. Yine, dinamik alanların takibi konusunda yapılan bir çalışma ile, farklı alan tarama şekilleri mümkün olmaktadır [69]. Çoklu robotlar ile ortam keşfinde önemli ilerlemeler sağlanırken, daha öncede bahsedildiği üzere robotlar arası iletişim konusuna daha az ilgi gösterilmiştir [129]. Bu alandaki çalışmaların çoğu tam ve sınırsız iletişimi varsayımlardır. Ancak, pratikte robotlar sınırlı iletişimin üstesinden gelmek zorundadırlar. Sınırlı iletişim, robotların iletişim yeteneğini azalttığından problemi daha da zorlaştırmaktadır [21], [129]. Örneğin, robotlar arası uzaklık iletişim kurulamayacak kadar uzak ise veya bir ağ hatası oluşmuş ise, robotlar diğer bir robotun daha önceden keşfetmiş olduğu alanı tekrar keşfedebilir. Bu durum, verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır.

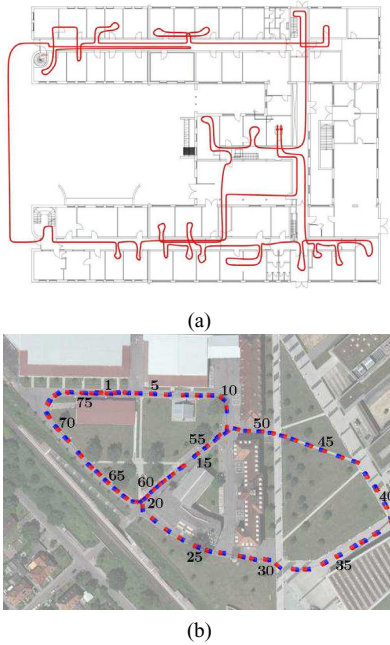
V. Haritalama Uygulamaları

Haritalama üzerine yapılan çalışmalar, farklı birçok ortamda uygulanmıştır [15], [34], [25]. Uygulamalar, 2B ofis, laboratuvar gibi basit iç mekan senaryolarından, dış mekanlara ve hatta sualtı ortamlarına doğru ilerlemiştir [33]. Bu uygulamalarda genel olarak kamera, 2B/3B lazer tarayıcı gibi algılayıcılardan gelen ortam bilgileri kullanılmaktadır [141]. Bazı çalışmalarda ise, bu algılayıcılara ek olarak, kodlayıcı, pusula, ataletsel ölçüm ünitesi gibi robotun hareketine dair bilgiler sağlayan algılayıcılar da kullanılmıştır.

Bu alandaki ilk çalışmalarda, lazerden gelen 2B uzaklık bilgilerinin kullanıldığı görülmektedir [65]. Örneğin, lazer tabanlı eş zamanlı konumlama ve haritalama, dış ortamlarda [64], [123], sualtında [123] ve havada [84], [158] uygulanmıştır. Yine dış ortamda, lazer tarayıcıdan gelen geometrik bilgiler ile, hem özneliklerin yerel duruşlarının betimlendiği, hem de öznelikler arasındaki tümel bağlantıların tanımlandığı melez bir harita yapısı oluşturulmuştur [53].

Bazı çalışmalarda ise sadece kameralardan gelen görsel veri kullanılarak, harita oluşturmaya odaklanılmıştır [78], [99], [106]. Örneğin, çift stereo kameralardan gelen öznelikler, Ransac algoritmasıyla geometrik olarak eşleştirilerek, yine dış ortamlarda harita oluşturmada kullanılmıştır [91], [109], [145], [147], [175]. Hatta bu çalışmalar, sualtında da uygulanmıştır [104]. Kamera bazlı eş zamanlı konumlama ve haritalandırma temelli başka araştırmalarda ise, görsel bilgiler kullanılarak, dış ortamlarda kaçırılan robot ve önceden hiç gidilmemiş yerler gibi durumlarda ne yapabileceğini bilen robotlar geliştirilmektedir [28], [29], [162]. Bu tip durumlarda, öznelik haritaları büyürken, gerçek zamanlı bir uygulamayı gerçekleştirebilmek önemli bir husustur. Birçok araştırma, bahsedilen bu sorunları da ele almaya başlamış ve bunları gidermek üzere yaklaşım-

lar önerilmiştir. Buna örnek olarak, günümüz yöntemlerinin kentsel bir dış ortamda, kendini tekrarlayan ve hareketli nesnelere zorlayıcı durumlardaki başarımını değerlendiren bir çalışma yapılmıştır [3]. Bu çalışmada hedeflenen nokta, zamansal açıdan sabit gereksinimleri olan bir yaklaşım ile gezgin robotun ortamı sonlu zaman içinde haritalayabilmesini sağlamaktır. Günümüzde, özellikle 3B lazerlerin geliştirilmesi ile birlikte, kamera ve 3B lazerler birlikte kullanılarak metrik eş zamanlı konumlandırma ve haritalama [133] ve topolojik [96] temelli haritalama uygulamaları yapılmıştır. Bu konudaki çalışmalar devam etmekte olup, farklı algılama şekillerinin de denendiğini gözlemlenmektedir. Örneğin, iki standart kamera ve bir atalet ölçü ünitesi kullanılarak, uçabilen bir robot ile dış ortamların harita çıkarımı uygulaması sunulmaktadır [158].



Şekil 3: Haritalama senaryo örnekleri. Üst: İç ortamda alanların tanımlanması [134]. Alt: Bir dış ortamda alanların tanımlanması [58].

Haritalama uygulamaları için geliştirilen yöntemlerin sınırlanabilmesi için birçok veritabanı mevcuttur [134][137]. Bunların bazıları iç ortamda, bazıları da dış ortamda alınmış verilerdir. Her veritabanı, iç, dış veya karma bir ortamda alınan odometri, görsel, uzaklık gibi farklı bilgileri içermektedirler. Şekil 3'de, birer iç ve dış ortam kapsamı örnek olarak sunulmaktadır. Zaman içinde, geliştirilen yaklaşımlar bu veriler üzerinde uygulandığından, başarımları açısından karşılaştırma yapmak mümkündür.

VI.Sonuç

Robotik ve yapay zeka alanlarının hedeflerinden biri, gezgin robotların iş yapma becerilerini arttırmaktır. Geliştirilen ilk gezgin robotlardan biri olan Shakey'den itibaren, bir robotun harekete başlamadan önce veya hareket halinde iken, kendi eylemleri hakkında muhakeme yapmasını sağlayacak algoritmalar üzerinde çalışılmaktadır. Robotik ve yapay zeka alanında yapılan araştırma ve geliştirmeler, bu vizyona yönelik çok

önemli katkılar sağlamıştır. Ancak, bu ümit verici gelişmelere rağmen, mevcut ticari ve askeri robotların çok nadiren tamamen özerk bir görev ve hareket planlama yeteneklerine sahip oldukları görülmektedir. Buna sebep olarak, robotların buldukları ortamı algılayarak, ortam haritası oluşturmalarındaki yetersizlikler ve bu haritaların görev planlarına tümleştirilmeleri konusundaki eksikleri sayabiliriz. Daha detaylı olarak açıklamak gerekirse:

- Gerçek dünya uygulamaları, dinamik ortamlar, gerçek zamanlılık ve sürekli operasyon gibi son derece karmaşık gereksinimlere sahiptirler.
- Algılama, harita oluşturma ve kullanma, kontrol gibi son derece farklı yöntemleri içeren alanların birleştirilmesinde tam olarak çözülememiş sorunlar vardır.

Tüm bu zorluklara rağmen, yine de otonom gezgin robotların, farklı iç ve dış ortamlarda, gittikçe artan bir eğilim ile kullanıldıklarını gözlemlemekteyiz. Mevcut durum itibarı ile, endüstri veya askeri amaçlı kullanılan robotların genel olarak önceden hesaplanmış hareketlere ve statik, önceden oluşturulmuş planları temel aldığını biliyoruz. Bu çerçevede, ilgili ticari ve askeri şirketler, hem robotik görevlerde, hem de hareket planlamada henüz çok az seviyede olan otonominin artırılmasına son derece önem vermektedirler. Bu bağlamda önemli bir nokta, robotların buldukları ortamı mümkün olduğunca kapsamlı olarak algılamaları ve hafızalarında bu algılar temelli haritalar oluşturabilmeleridir. Bu haritalar kullanılarak, uzamsal muhakeme yapabilmeleri ve otonom olabilmeleri; dolayısıyla çevre tarama, keşif, hareket, taşıma gibi farklı işleri kendi başlarına güvenilir bir şekilde yapabilmeleridir.

Harita modelleri ve kullanım yöntemleri açısından, yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak metrik haritalar ve geometrik bazlı kullanım yöntemleri çerçevesinde olduğu görülmektedir. Metrik haritalar ile muhakeme genel olarak, Bayes tabanlı filtreler veya beklenti en büyüme gibi klasik kestirim ve istatistik kuramı temelli yaklaşımlar ile sağlanmaktadır. Her ne kadar geometrik kafes tabanlı haritalama, ortamın detaylı bir şekilde haritalandırılmasını ve değişik algılayıcılardan gelen verilerin tümleştirilmesini sağlar. Ancak, sabit kafes boyutu nedeniyle, geniş ortamlarda çok sayıda kafes oluşturulması gerekmektedir. Buna bağlı olarak yüksek hesaplama yükü, yüksek hafıza gereksinimi gibi kısıtlayıcı durumlar ortaya çıkar. Bu yaklaşıma alternatif olarak geliştirilen topolojik yaklaşımlar, esasen çizge bazlı yaklaşımlar olup, düğümlerin ve kenarların ne anlama geldiği uygulamaya göre değişebilmektedir. En güncel çalışmalarda, imgelerden oluşturulan görsel sözcükler düğümleri oluşturmakta ve imgeler arası ilişkilere dayalı olarak, düğümler arasındaki kenarlar oluşturulmaktadır. Ancak bu çalışmalara rağmen, topolojik haritaların tam olarak ne olduğu ve nasıl oluşturulduklarına dair bir görüş birliği yoktur.

Çoklu robotlar ile harita çıkarımı ve kullanımı konusu ise, birden fazla robotun seçilen harita modeli çerçevesinde, bulunan ortamın haritasını nasıl oluşturacakları, ilgili hareket ve iletişim yöntemleri ile ilintilidir. Bu çerçevede, çoklu robotlar ile yapılan çalışmaların genelde metrik harita temelli geometrik yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Az sayıdaki topolojik harita temelli, çoklu robot haritalama çalışmalarında, düğümler yerel yapıyı tam olarak yansıtamamakta veya dikkörtgensel harita-

lar gibi varsayımlar yapılmaktadır. Yine çok az sayıda olan karma harita temelli çalışmalarda düğümler, metrik haritalardan oluştuğundan, bu tür haritalar ile ilişkilendirilen sorunlara sahiptirler. Hareket ve keşif konusunda ise, yine metrik harita bazlı yaklaşımların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Topolojik veya karma haritalar ile keşif konusunu ele alan çalışmalar çok daha az sayıdadır.

Çoklu robotlarda önemli ikinci bir husus ise robotlar arasındaki iletişim stratejisi ve buna dayalı olarak oluşan iletişim ağıdır. Yapılan çalışmaların çoğunda, iletişimin bir şekilde sağlandığı varsayılmıştır. Halbuki robotların, kimler ile nasıl ve ne zaman iletişime gireceği ve hangi bilgileri paylaşacağı, üzerinde çalışılması gereken ayrı bir konudur ve bu konuda yapılan yayınların göreceli olarak yeni tarihli olduğu görülmektedir. Herkes ile sürekli iletişime girmek ve sahip olunan tüm bilgileri paylaşmak, çok fazla iletişim kanalı kapasitesi gerektireceğinden veya sınırlı güç, uzaklık gibi fiziksel nedenlerden dolayı mümkün olmayabilir. Robotlar hareket ederken, iletişim kararları, alınan bilginin en fazla olması, hareket kurgusuna uygunluk ve robotlar arasındaki etkileşimin en aza indirgenmesi gibi farklı kriterler içerecektir. Dolayısıyla bağlantılar bu kriterlere göre belirlenir.

Sonuç olarak, yukarıda anlatılan hedefler ile bilimsel ve teknolojik olarak gerçekleştirilen ilerlemeler çerçevesinde, ortam haritalama, yapılmış olan tüm çalışmalara rağmen, hala önemli bir konu olmaya devam etmektedir. Makalede anlatıldığı üzere, alanda büyük ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, tüm sorunların çözüldüğünü söylemek mümkün değildir. Nitekim, robotik alanının en önemli konferanslarından biri olan "IEEE International Conference on Robotics and Automation" konferansının son yıllarda yapılan etkinliklerinde, günlük sunuşlar dilimini oluşturan oturumlardan en az bir veya ikisinin, bu konularda yapılması, konunun güncelliğinin devam ettiğinin önemli bir göstergesidir. Bu çalışmamız, robot camiasında bu alana ilgi duyanlar için bir başlangıç kaynağı olması amacı ile sunulmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma kısmi olarak Boğaziçi Üniversitesi BAP Projesi 2010-5720, kısmi olarak ta Tübitak EEEAG 111285 kodlu proje tarafından desteklenmiştir.

Ek: Karşılıklı Türkçe & İngilizce Terimler

Bu kısımda, makalede kullanılan çeşitli terimlerin İngilizce karşılıkları alfabetik olarak sunulmaktadır.

Alt çizge ↔ Sub-graph
 Ana bileşenler analizi ↔ Principal component analysis
 Artımlı en büyük olasılırlık ↔ Incremental maximum likelihood
 Bağlamsal tabanlı ↔ Context-based
 Beklenti en büyüme ↔ Expectation maximization
 Bilgi birleşimi ↔ Data fusion
 Buluşsal ↔ Heuristic
 Çizge bölütleme ↔ Graph partitioning
 Çoklu üstlenici ↔ Multi-agent
 Değişinti ↔ Covariance
 Dışsal ↔ Extroceptive

Doluluk kafesi ↔ Occupancy grid
 Destek vektör makineleri ↔ Support vector machines
 Doğrudan karşılaşma ↔ Direct encounter
 Düğümler ↔ Nodes, vertices
 Dünya merkezli ↔ World-centric
 Dürümsel enyakin nokta ↔ Iterative Closest Point
 Düzleme ↔ Smoothing
 En muhtemel harita ↔ Most Likely Map
 Eşzamanlı konumlandırma ve haritalandırma ↔ Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)
 İçsel ↔ Proprioceptive
 İkili oyunlarda ↔ Pairwise games
 İmge dikişleme ↔ Image stitching
 İmge tescilleme ↔ Image registration
 İskelet ↔ Skeleton
 İşbirlikçi ↔ Cooperative
 İzgel toplama ↔ Spectral clustering
 Kare Kök Bilgi Yumuşatması ↔ Square Root Information Smoothing
 Karma ↔ Hybrid
 Kazanç ↔ Payoff
 Kelime çantası ↔ Bag of words
 Kenarlar ↔ Edges
 Küme kuramsal ↔ Set-theoretic
 Nirengi ↔ Landmark
 Optimal altı ↔ Suboptimal
 Özimgelere parçalama ↔ Decomposition into eigenimages
 Özyineli ↔ Recursive
 Parekete hesabı ↔ Dead reckoning
 Parmak izi ↔ Fingerprint
 Robot merkezli ↔ Robot-centric
 Seyrek genişletilmiş bilgi süzgeçleri ↔ Sparse extended information filters
 Sözlük ağacı ↔ Vocabulary tree
 Taşınabilir işaretler ↔ Portable beacons
 Tümyönlü ↔ Omnidirectional
 Veri ilişkilendirme ↔ Data association
 Yaklaşık hücresel ayrışım tabanlı ↔ Approximate cellular decomposition based

Kaynakça

- [1] Acar, E.U. ve H. Choset, Sensor-based Coverage of Unknown Environments. *Int. J. of Rob. Research*, Cilt 21(4), ss. 345-366, 2002
- [2] Acar E.U., H. Choset, Y. Zhang, M.J. Schervish: Path Planning for Robotic Demining: Robust Sensor-based Coverage of Unstructured Environments and Probabilistic Methods. *Int. J. of Rob. Research*, Cilt 22(7-8), ss. 441-466, 2003
- [3] Achar S., C.V. Jawahar ve K.M. Krishna, Large Scale Visual Localization in Urban Environments. *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 5642-5648, 2011
- [4] Albus J.S. , Outline for a Theory of Intelligence. *IEEE Trans. on Sys., Man, and Cybern.*, Cilt 21(3), ss. 473-509, 1991
- [5] Andersson L. ve J. Nygard, C-sam: Multi-robot slam using square root information smoothing, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 2798-2805, 2008
- [6] Bailey T. ve H. Durrant-Whyte, Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part I. *IEEE Rob. & Aut. Magazine*, ss. 99-107, 2006
- [7] Bailey T. ve H. Durrant-Whyte, Simultaneous localization and mapping (SLAM): Part II. *IEEE Rob. & Aut. Magazine*, ss. 108-117, 2006
- [8] Bayram H. ve H.I.Bozma, Multi-robot Navigation with Limited Communication-Deterministic vs Game-Theoretic Networks, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 1825-1830, 2010
- [9] Bayram H. ve H.I.Bozma, Pairwise vs Coalition Game Networks for Multi-Robot Systems, *Proc. of IFAC 18th World Congress*, ss. 13750-13755, 2011

- [10] Besl P. ve H. McKay, A method for fegristration of 3-d shapes, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Cilt 14(2), ss. 239-256, 1992
- [11] Birk A. ve S. Carpin, Merging occupancy grid maps from multiple robots, *Proc. of the IEEE*, Cilt 94(7), ss. 1384-1397, 2006
- [12] Biswas R., B. Limketkai, S. Sanner ve S.Thrun, Towards object mapping in dynamic environment with mobile robots, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 2002.
- [13] Blaer P. ve P. Allen. Topological mobile robot localization using fast vision techniques, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 1031-1036, 2002.
- [14] Bay H., Herbert, T. Tuytelaars ve L. Van Gool, Speeded-up robust features (SURF). *Computer Vision and Image Understanding*, Cilt 110, ss. 346-359, 2008
- [15] Bosse M., P. Newman, J. Leonard ve S. Teller, Simultaneous localization and map building in large-scale cyclic environments using the atlas framework *Int. J. of Rob. Research*, Cilt 23(12), ss. 1113-1139, 2004
- [16] Bosse M. ve J. Roberts, Histogram matching and global initialization for laser-only slam in largeunstructured environments, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 4820-4826, 2007
- [17] Bowling M., D. Wilkinson, A. Ghodsi ve A. Milstein, Subjective localization with action respecting embedding, *Rob. Research*, Springer, Cilt 28, ss. 190-202, 2007
- [18] Bozma H.I. , G. Çakiroglu ve Ç. Soyer, Biologically inspired Cartesian and non-Cartesian filters for attentional sequences. *Pat. Rec. Letters*, Cilt 24(9-10), ss. 1261-1274, 2003
- [19] Brunskill E., T. Kollar ve N. Roy, Topological mapping using spectral clustering and classification, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 3491-3496, 2007
- [20] Burgard W., M. Moors, D. Fox, R. Simmons ve S. Thrun, Collaborative multi-robot exploration, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 1, ss. 476-481, 2000
- [21] Burgard W., M. Moors, C. Stachniss ve F. Schneider, Coordinated multi-robot exploration, *IEEE Trans. on Rob.*, Cilt 21(3), ss. 376-378, 2005
- [22] Caglioti V., A. Citterio ve A. Fossati, Cooperative, distributed localization in multi-robot systems: a minimum-entropy approach, *IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications*, ss. 25-30, 2006
- [23] Cao Y.U, A.S. Fukunaga ve A. Kahng, Cooperative mobile robotics: antecedents and directions, *Auton. Rob.*, Cilt 4(1), ss. 7-27, 1997
- [24] Casavola A., M. Papini, ve G.Franze, Supervision of networked dynamical systems under coordination constraints, *IEEE Trans. on Aut. Contr.*, 51 (3), ss. 421-437, 2006
- [25] Chong K.S. ve L. Kleeman, Feature-based mapping in real, large scale environments using an ultrasonic array, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 18(1), ss. 3-19, 1999
- [26] Choset H. ve K. Nagatani, Topological simultaneous localization and mapping (slam): Toward exact localization without explicit localization, *IEEE Trans. on Rob. and Aut.*, Cilt 17, ss. 125-137, 2001
- [27] Clemente L., A. Davison, I. Reid, J. Neira, ve J.D. Tardos. Mapping large loops with a single hand-held camera. *In Robotics Science and Systems*, 2007
- [28] Cummins M. ve P. Newman, Fab-map: Probabilistic localization and mapping in the space of appearance, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 27, ss. 647-665, 2008
- [29] Cummins M. ve P. Newman, Appearance-only SLAM at large scale with fab-map 2.0, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 30(9), 2010
- [30] Cohen W. W., Adaptive mapping and navigation by teams of simple robots, *Rob. and Autonomous Systems*, Cilt 8(4), ss. 411-434, 1996
- [31] Chang H., C. Lee, Y. Hu ve Y.-H. Lu, Multi-robot slam with topological/metric maps, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 1467-1472, 2007
- [32] Davison A., Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera, *Int. Conf. on Computer Vision*, ss. 1403-1410, 2003
- [33] Davison A., Modelling the World in Real Time: How Robots Engineer Information *Phil. Trans. R. Soc.*, Cilt 361(1813), ss. 2875-2890, 2003
- [34] Davison A., Y.G. Cid ve N. Kita, Real-time 3D SLAM with wide-angle vision, *Proc. IFAC/EURON Symp. Intelligent Auton. Vehicles*, 2004
- [35] Davison A., I. Reid, N. Molton ve O. Stasse, Monoslam: Real-time single camera slam, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Cilt 29(6), ss. 1052-1067, 2007
- [36] Dedeoglu G. ve G. S. Sukhatme, Landmark based matching algorithm for cooperative mapping by autonomous robots, *Distributed Autonomous Robotic Systems*, Cilt 4, ss. 251-60, 2000
- [37] Dempster A.P., A.N. Laird ve D.B. Rubin. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, Cilt 39(1), ss. 1-38, 1977
- [38] Dellaert F., S.M. Seitz, C. Thorpe ve S. Thrun, EM, MCMC, and Chain flipping for structure from motion with unknown correspondence, *Machine Learning*, Cilt 50(1-2), ss. 45-71, 2003
- [39] Dellaert F. ve M. Kaess, "Square root SAM: Simultaneous localization and mapping via square root information smoothing," *Int. J. Robot. Res.*, Cilt 25(12), ss. 1181-1203, 2006
- [40] Desai J. P., A graph theoretic approach for modeling mobile robot team formations, *J. Robot. Syst.*, 19(11), ss. 511-555, 2002.
- [41] Dietl M., J.S. Gutmann ve B. Nebel, Cooperative sensing in dynamic environments, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, Cilt 3, ss. 1706-1713, 2001
- [42] Di Marco M., A. Garulli, A. Giannitrapani ve A. Vicino, Simultaneous localization and map building for a team of cooperating robots: a set membership approach, *IEEE Trans. on Rob. and Aut.*, Cilt 19(2), ss. 238-249, 2003
- [43] Dissanayake G., P. Newman, S. Clark, H.F. Durrant-Whyte ve M. Csorba. An experimental and theoretical investigation into simultaneous localisation and map building (SLAM). Editörler: P. Corke and J. Trevelyan, *Lecture Notes in Control and Information Sciences: Experimental Robotics VI*, ss. 265-274, Springer Verlag, 2000
- [44] Dong W. ve J.A. Farrell, Cooperative Control of Multiple Nonholonomic Mobile Agents, *IEEE Trans. on Aut. Contr.*, Cilt 53(6), ss. 1434-1448, 2008
- [45] Dudek G., M. Jenkin, D. Milos ve E. Wilkes, Topological exploration with multiple robots, *Proc. of the 7th Int. Symposium on Rob. with Applications*, 1998
- [46] Elfes A. Sonar-based real-world mapping and navigation. *IEEE Trans. on Rob. and Aut.*, Cilt 3(3) ss. 249-265, 1987
- [47] Erkent Ö. ve H.I. Bozma, Place Representation in Topological Maps Based on Bubble Space, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 3497-3502, 2012.
- [48] Franz M. O., B. Scholkopf, H. A.Mallot ve H. H. Bulthoff, Where did I take that snapshot? Scene-based homing by image matching, *Biological Cybernetics*, Cilt 79, ss. 191-202, 1998
- [49] Fazl-Ersi E. ve J.K. Tsotsos, Histogram of Oriented Uniform Patterns for robust place recognition and categorization, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 31(4), ss. 468-483, 2012.
- [50] Fenwick J., P. Newman ve J. Leonard, Cooperative concurrent mapping and localization, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 2, ss. 1810-1817, 2002.
- [51] Filliat D. ve J. Meyer, Map-based navigation in mobile robot: I. a review of localization strategies, *Cognitive Systems Research*, Cilt 4, ss. 243-282, 2003
- [52] Filliat D. ve J. Meyer, Map-based navigation in mobile robot: Ii. a review of map-learning and path-planningstrategies, *Cognitive Systems Research*, Cilt 4, ss. 283-317, 2003
- [53] Folkesson J. ve H. Christensen, Graphical slam-a self-correcting map, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 1, ss. 383-390, 2004
- [54] Fox D., W. Burgard, H. Kruss. a ve S. Thrun, A probabilistic approach to collaborative multi-robot localization, *Auton. Rob.*, Cilt 8, ss. 325-344, 2000
- [55] Fox D., J. Ko, K. Konolige ve B. Stewart, A hierarchical bayesian approach to the revisiting problem in mobile robot map building, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 15, ss. 60-69, 2005
- [56] Franchi, A., L. Freda, G. Oriolo ve M.Vendittelli, The sensor-based random graph method for cooperative robot exploration, *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, Cilt 14(2), 163-75, 2009

- [57] Fraundorfer F., C. Engels ve D. Nister, Topological mapping, localization and navigation using image collections, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 3872-3387, 2007
- [58] Freiburg Campus 360 degree 3D scans, <http://ais.informatik.uni-freiburg.de/projects/datasets/fr360/>
- [59] Frese U., A Discussion of Simultaneous Localization and mapping, *Auton. Rob.*, Cilt 20, ss. 25-42, 2006
- [60] Fredslund J. ve M.J. Mataric, A general algorithm for robot formations using local sensing and minimal communication, *IEEE Trans. on Rob. and Aut.*, 18(5), ss. 837-846, 2002.
- [61] Friedman S., H. Pasula ve D. Fox, Voronoi random fields: Extracting topological structure of indoor environments via place labeling, *Proc. of the Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence* ss. 2109-2114, 2007
- [62] Friedrich H., D. Dederscheck, K. Krajssek ve R. Mester, View-based robot localization using illumination-invariant spherical harmonics descriptors, *Proc. of Int. Joint Conf. on Computer Vision and Computer Graphics Theory and Applications*, Cilt 2, ss. 543-550, 2008
- [63] Grabowski R., L. E. Navarro-Serment, C. J. Paredis ve P. K. Khosla, Heterogeneous teams of modular robots for mapping and exploration, *Auton. Rob.*, Cilt 8, ss. 293-308, 2000
- [64] Guivant J.E. ve E.M. Nebot, Optimization of the simultaneous localization and map-building algorithm for real-time implementation, *IEEE Trans. on Rob. and Aut.*, Cilt 17(3), ss. 242-257, 2001
- [65] Gutmann J.-S. ve K. Konolige, Incremental mapping of large cyclic environments, *Proc. of Int. Symp. on Comp. Intelligence in Rob. and Aut.*, ss. 318-325, 1999
- [66] Hajdukova, J., Coalition formation games: A survey, *Int. Game Theory Review*, Cilt 8(4), ss. 613-641, 2006
- [67] Harris C. ve M. Stephens, A combined corner and edge detector, *AVS88*, ss. 147-151, 1988
- [68] Hartley R. ve A. Zisserman, Multiple view geometry in computer vision, *Cambridge University Press*, 2000
- [69] Hou S. P., C.C. Cheah ve J.J.E. Slotine, Dynamic region following formation control for a swarm of robots, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 1929-1934, 2009
- [70] Howard A., M. Mataric ve G. Sukhatme, Localization for mobile robot teams using maximum likelihood estimation, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, Cilt 1, ss. 434-439, 2002.
- [71] Howard A., M. Mataric ve G. Sukhatme, Putting the 'i' in 'team': an ego-centric approach to cooperative localization, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 1, ss. 868-874, 2003
- [72] Howard A., Multi-robot mapping using manifold representations, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 4, ss. 4198-4203, 2004
- [73] Howard A., Multi-robot simultaneous localization and mapping using particle filters, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 25(12), ss. 1243-1256, 2006
- [74] Huang W. H. ve K. R. Beevers, Topological map merging, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 24(8), ss. 601-613, 2005
- [75] Indelman V., P. Gurfil, E. Rivlin ve H. Rotstein, Distributed vision-aided cooperative localization and navigation based on three-view geometry, *IEEE Aerospace Conf.*, ss. 1-20, 2011
- [76] Jackson M.O. ve A. Wolinsky, A strategic model of social and economic networks, *J. Economic Theory*, Cilt 77, ss. 44-74, 1996
- [77] Jaulin L., Range-only slam with occupancy maps: A set-membership approach, *IEEE Trans. on Rob.*, Cilt 27(5), ss. 1004-1010, 2011
- [78] Jensfelt P., D. Kragic, J. Folkesson ve M. Björkman. A framework for vision based bearing only 3D SLAM. *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 1944 -1950, 2006
- [79] Jiang T. ve J.S. Baras, Fundamental tradeoffs and constrained coalitional games in automatic wireless networks, *Proc. of 5th Int. Symp. on Modeling and Opt. in Mobile, Ad Hoc & Wireless Networks*, 2007
- [80] Jogan M. ve A. Leonardis, Robust localization using panoramic view-based recognition, *Int. Conf. on Pattern Recognition*, Cilt 4, ss. 136-139, 2000
- [81] Kaess M., A. Ranganathan ve F. Dellaert, isam: Incremental smoothing and mapping, *IEEE Trans. on Rob.*, Cilt 24(6), ss. 1365-1378, 2008
- [82] Ni K. ve F. Dellaert, Multi-level submap based slam using nested dissection, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 2558-2565, 2010
- [83] Keith Y. K. Leung, Timothy D. Barfoot, H. Hugh ve T. Liu. Distributed and Decentralized Cooperative Simultaneous Localization and mapping for Dynamic and Sparse Robot Networks, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 3841-3847, 2011
- [84] Kim J. ve S. Sukkarieh, Airborne simultaneous localization and map building, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 406-411, 2003
- [85] Kim B., M. Kaess, L. Fletcher, J. Leonard, A. Bachrach, N. Roy, ve S. Teller, Multiple relative pose graphs for robust cooperative mapping, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 3185-3192, 2010
- [86] Klavins E., Communication complexity of multirobot systems, in *Algorithmic Foundations of Robotics V.*, Springer-Verlag, Cilt 7, ss. 275-292, 2003
- [87] Klatzky R.L., Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections, *Spatial cognition- An interdisciplinary approach to representation and processing of spatial knowledge (Lecture Notes in Artificial Intelligence 1404)*, ss. 1-17, Springer-Verlag, 1998
- [88] Knuth J. ve P. Barooah, Distributed collaborative localization of multiple vehicles from relative pose measurements, *47th Annual Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing*, ss. 314-321, 2009
- [89] Ko J., B. Stewart, D. Fox, K. Konolige ve B. Limketkai, A practical, decision-theoretic approach to multi-robot mapping and exploration, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 3232-3238, 2003
- [90] Konolige K., D. Fox, B. Limketkai, J. Ko ve B. Stewart, Map merging for distributed robot navigation, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, Cilt 1, ss. 212-217, 2003
- [91] Konolige K., M. Agrawal, R. Bolles, M. Cowan, Creggand Fischer ve B. Gerkey, Outdoor mapping and navigation using stereo vision, *Experimental Rob.*, Cilt 39, ss. 179-190, 2008
- [92] Konolige K., J. Bowman, J. Chen, M. Mihelich, Patrick and Calonder, V. Lepetit, ve P. Fua, View-based maps, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 29(8), ss. 941-957, 2010
- [93] Krose B., N. Vlassis, R. Bunschoten ve Y. Motomura, A probabilistic model for appearance-based robot localization, *Image and Vision Computing*, Cilt 19, no. 6, ss. 381-391, 2001
- [94] Kuipers B., J.J. Modayil, P. Beeson, M. MacMahon ve F. Savelli, Local Metrical and Global Topological Maps in the Hybrid Spatial Semantic Hierarchy, in *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 4851-4845, 2004
- [95] Kurazume R., S. Nagata ve S. Hirose, Cooperative positioning with multiple robots, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 2, ss. 1250-1257, 1994
- [96] Lamon R., I. Nourbakhsh, B. Jensenl ve R. Siegwart, Deriving and matching image fingerprint sequences for mobile robot localization, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 1609-1610, 2001
- [97] Leung K., T. Barfoot ve H. Liu, Decentralized cooperative simultaneous localization and mapping for dynamic and sparse robot networks, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 3554-3561, 2010
- [98] Leung K., T. Barfoot ve H. Liu, Distributed and decentralized cooperative simultaneous localization and mapping for dynamic and sparse robot networks, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 3841-3847, 2011
- [99] Levin A. ve R. Szeliski, Visual odometry and map correlation, *Proc. of the 2004 IEEE Int. Conf. on Comp. Vision and Patt. Recog.*, Cilt 1, ss. 611-618, 2004
- [100] Li X. ve Y. Xi, Distributed Formation Algorithm for Multi-agent Systems with a Relaxed Connectivity Condition, *Proc. 17th IFAC World Congress*, ss. 5137-5142, 2008
- [101] Lygeros, J., K. H. Johansson, S.N. Simic, J. Zhang ve S.S. Sastry, Dynamical properties of hybrid automata, *IEEE Trans. on Aut. Contr.*, Cilt 48(1), ss. 2-17, 2003
- [102] Lynch N. A., R. Segala ve F. Vaandrager, Hybrid I/O automata, *Inform. Comput.*, Cilt 185(1), ss. 105-157, 2003

- [103] Madhavan R., K. Fregene ve L. E. Parker, Distributed cooperative outdoor multirobot localization and mapping, *Auton. Rob.*, Cilt 17, ss. 23-39, 2004
- [104] Mahon I., S. Williams, O. Pizarro ve M. Johnson-Roberson, Efficient view-based slam using visual loop closures, *IEEE Trans. on Rob.*, Cilt 24(5), ss. 1002-1014, 2008
- [105] Makadia A. ve K. Daniilidis, Rotation recovery from spherical images without correspondences. *IEEE Trans. on Patt. Anal. and Machine Int.*, Cilt 28(7), ss. 1170-1175, 2006
- [106] Mariottini G.L., F. Morbidi, D. Prattichizzo, N. Vander Valk, N. Michael, G. Pappas ve K. Daniilidis, Vision-Based Localization for Leader Follower Formation Control, *IEEE Trans. on Rob.*, 25(6), ss. 1431-1438, 2009
- [107] Martinelli A., F. Pont ve R. Siegwart, Multi-robot localization using relative observations, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 2797-2802, 2005
- [108] Martinez S., F. Bullo, J. Cortes ve E. Frazzoli, On synchronous robotic networks Part I: Models, tasks, and complexity, *IEEE Trans. on Aut. Contr.*, 52(12), ss. 2199-2213, 2007
- [109] Marks T., A. Howard, M. Bajracharya, G. Cottrell ve L. Matthies, Gamma-slam: Using stereo vision and variance grid maps for slam in unstructured environments, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 3717-3724, 2008
- [110] Meilland M., A.I. Comport ve P. Rives, A spherical robot-centered representation for urban navigation, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 5196-5201, 2010
- [111] Merino L., J. Wiklund, F. Caballero, A. Moe, J. Ramiro, E. Forssen, K. Nordberg ve A. Ollero, Vision-Based Multi-UAV Position Estimation, *IEEE Rob. and Aut. Magazine*, ss. 53-62, 2006
- [112] Mesbahi M., On State-dependent dynamic graphs and their controllability properties, *IEEE Trans. on Aut. Contr.*, Cilt 50(3), ss. 387-392, 2005
- [113] Miklic D., S. Bogdan ve R. Fierro, Decentralized grid-based algorithms for formation reconfiguration and synchronization, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 4463-4468, 2010
- [114] Montemerlo M., S. Thrun, D. Koller ve B. Wegbreit. Fast-SLAM: A Factored Solution to the Simultaneous Localization and Mapping Problem *Proc. of the AAAI Nat. Conf. on Artif. Intelligence*, ss. 593-598, 2002
- [115] Moravec, H. ve A. Elfes, High resolution maps for wide angles sonar, *Proc. IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 2, ss. 116-121, 1985
- [116] Mostofi Y., Communication-aware motion planning in fading environments, *Proc. IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 3170-3174, 2008
- [117] Mourikis A. I. ve S. I. Roumeliotis, Predicting the performance of cooperative simultaneous localization and mapping (c-slam), *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 25, ss. 1273-1286, 2006
- [118] Muhammad A. ve M. Egerstedt, Connectivity graphs as models of local interactions, *Appl. Math. Comput.*, Cilt 168(1), ss. 243-269, 2005
- [119] Murillo A., J. Guerrero ve C. Sagues, Surf features for efficient robot localization with omnidirectional images, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 3901-3907, 2007
- [120] Myerson R., Graphs and cooperation in games, *Math. Oper. Res.*, Cilt 2(3), ss. 225-229, 1977
- [121] E. W. Nettleton, H. F. Durrant-Whyte ve A. H. Goktogan, Multiple-platform localization and map building, *Proc. SPIE* Cilt 4196, ss. 337-347, 2000
- [122] Nerurkar E. D., S. I. Roumeliotis ve A. Martinelli, Distributed maximum a posteriori estimation for multi-robot cooperative localization, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 1375-1382, 2009
- [123] Newman P.M. ve J.J. Leonard, Pure range-only subsea SLAM, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 1921-1926, 2003
- [124] Ni K., D. Steedly ve F. Dellaert, Tectonic sam: exact, out-of-core, submap-based slam, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 1678-1685, 2007
- [125] Ni K. ve F. Dellaert, Multi-level submap based slam using nested dissection, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 2558-2565, 2010
- [126] Nistér, D. ve H. Stewénius. Scalable recognition with a vocabulary tree. *Proc. of the 2004 IEEE Int. Conf. on Comp. Vision and Patt. Recog.*, Cilt 2, ss. 2161-2168, 2006
- [127] Oliva A. ve A. Torralba, Modeling the Shape of the Scene: A Holistic Representation of the Spatial Envelope. *Int. J. of Computer Vision*, Cilt 42(3), ss. 145-175, 2001
- [128] Paskin M. A., Thin junction tree filters for simultaneous localization and mapping, *Proc. of Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence*, ss. 1157-1164, 2003
- [129] Pei Y., M. W. Mutka ve N. Xi, Coordinated Multi-Robot Real-Time Exploration With Connectivity and Bandwidth Awareness, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 5460-5465, 2010
- [130] Pereira G. A. S., V. Kumar ve M. F. M. Campos, Closed loop motion planning of cooperating mobile robots using graph connectivity, *Robot. Auton. Syst.*, Cilt 56, ss. 373-384, 2008
- [131] Peters R.A., E.K. Hambuchen, K. Kawamura ve D.M. Wilkes, The Sensory Ego-Sphere as a Short-Term Memory for Humanoids. *Proc. of the IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots*, 2001
- [132] Piovesan J.L., C.T. Abdallah ve H.G. Tanner, Modeling Multi-agent Systems with Hybrid Interacting Dynamics, *Proc. American Control Conf.*, ss. 3644-3649, 2009
- [133] Posner I., M. Cummins ve P. Newman, A generative framework for fast urban labeling using spatial and temporal context, *Auton. Rob.*, Cilt 26, ss. 153-170, 2009
- [134] *Radish: The Robotics Data Set Repository*, <http://radish.sourceforge.net/>
- [135] Rekleitis I. M., G. Dudek ve E. E. Miliotis, Multi-robot cooperative localization: A study of trade-offs between efficiency and accuracy, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 2690-2695, 2002.
- [136] Remolina E. ve B. Kuipers, Towards a general theory of topological maps, *Artificial Intelligence*, Cilt 152(1), ss. 47-104, 2004
- [137] *Robotic 3D Scan Repository*, <http://kos.informatik.uni-osnabrueck.de/3Dscans/>
- [138] Roy N. ve G. Dudek, Collaborative robot exploration and rendezvous: Algorithms, performance bounds and observations, *Auton. Rob.*, Cilt 11, ss. 117-136, 2001
- [139] Renzaglia A. ve A. Martinelli, Potential Field based Approach for Coordinate Exploration with a Multi-Robot Team, *IEEE Int. Workshop on Safety, Security and Rescue Rob.*, ss. 1-6, 2010
- [140] Rossi F., A. Ranganathan, F. Dellaert ve E. Menegatti, Toward Topological Localization with Spherical Fourier Transform and Uncalibrated Camera. *Omnidirectional Robot Vision Workshop, Int. Conf. Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots*, ss. 319-330, 2008
- [141] Roumeliotis S. ve G. Bekey, Distributed multirobot localization, *IEEE Trans. on Rob. and Aut.*, Cilt 18(5), ss. 781-795, 2002.
- [142] Saad, W., Z. Han, M. Debbah, A. Hjørungnes ve T. Basar, Coalitional Game Theory for Communication Networks, *IEEE Signal Process. Mag.*, ss. 77-97, 2009
- [143] Sabattini L., C. Secchi ve C. Fantuzzi, Arbitrarily shaped formations of mobile robots: artificial potential fields and coordinate transformation, *Auton. Rob.*, Cilt 30(4), ss. 385-397, 2011
- [144] Saber R. ve R. Murray, Agreement problems in networks with directed graphs and switching topology, *Proc. IEEE Conf. Decision & Control*, Cilt 4, ss. 4126-4132, 2003
- [145] Schmitt T., R. Hanek, M. Beetz, S. Buck ve B. Radig, Cooperative probabilistic state estimation for vision-based autonomous mobile robots, *IEEE Trans. on Rob. and Aut.*, Cilt 18(5), ss. 670-684, 2002.
- [146] Se S., D. Lowe, ve J. Little, Local and Global Localization for Mobile Robots using Visual Landmarks. *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 414-420, 2001
- [147] Se S. , D. Lowe ve J. Little, Vision-based global localization and mapping for mobile robots, *IEEE Trans. on Rob.*, Cilt 21(3), ss. 364-375, 2005
- [148] Sepulchre R., D.A. Paley ve N.E. Leonard, Stabilization of Planar Collective Motion: All-to-All Communication, *IEEE Trans. on Aut. Contr.*, 52(5), ss. 811-824, 2007
- [149] Sepulchre R., D.A. Paley ve N.E. Leonard, Stabilization of Planar Collective Motion with Limited Communication, *IEEE Trans. on Aut. Contr.*, Cilt 53(3), ss. 706-719, 2008

- [150] Sheng W., Q. Yang, J. Tan ve N. Xi, Distributed multi-robot coordination in area exploration, *Rob. and Autonomous Systems*, Cilt 54(12), ss. 945-955, 2006
- [151] Smaili C., M. El Najjar ve Francois, Multi-sensor fusion method using bayesian network for precise multi-vehicle localization, *IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems*, ss. 906-911, 2008
- [152] Sharma R. ve C. Taylor, Cooperative navigation of maps in gps denied areas, *IEEE Int. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, ss. 481-486, 2008
- [153] Simmons R. G., D. Apfelbaum, W. Burgard, D. Fox, M. Moors, S. Thrun ve H. L. S. Younes, Coordination for multi-robot exploration and mapping, *Proc. of the AAAI Nat. Conf. on Artif. Intelligence and Twelfth Conf. on Innovative Applications of Artificial Intelligence*, ss. 852-858, 2000
- [154] Sivic J. ve A. Zisserman, Video Google: A text retrieval approach to object matching in videos. *Int. Conf. on Computer Vision*, Cilt 2, ss. 1470-1477, 2003
- [155] Soyer C., H. I. Bozma ve Y. I Stefanopoulos, A new memory model for selective perception systems, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 2304-2309, 2000
- [156] Soyer C., H. I. Bozma ve Y. I Stefanopoulos, Apes-biologically motivated attentive robot, *Auton. Rob.*, Cilt 20, ss. 61-80, 2006
- [157] Stachniss C., O. Martinez Mozos ve W. Burgard, Speeding up multi-robot exploration by considering semantic place information, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 1692-1697, 2006
- [158] Steder B., G. Grisetti, C. Stachniss ve W. Burgard, Visual slam for flying vehicles, *IEEE Trans. on Rob.*, Cilt 24(5), ss. 1088-1093, 2008
- [159] Stipes J., R. Hawthorne, D. Scheidt ve D. Pacifico, Cooperative localization and mapping, *IEEE Int. Conf. on Networking, Sensing and Control*, ss. 596-601, 2006
- [160] Thrun S., Robotic mapping: A survey, *Exploring Artificial Intelligence in the New Millennium*, 2002.
- [161] Thrun S. ve Y. Liu, Multi-robot slam with sparse extended information filters, *Robotics Research*, Cilt 15, ss. 254-265, 2005
- [162] Thrun S. ve M. Montemerlo, The graph slam algorithm with applications to large-scale mapping of urban structures, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 25(5-6), ss. 403-429, 2006
- [163] Torralba A., K. P. Murphy, W. T. Freeman ve M. A. Rubin, Context-based vision system for place and object recognition, *IEEE Int. Conf. on Computer Vision*, Cilt 1, ss. 273, 2003
- [164] Tomatis N., I. Nourbakhsh, K. Arras ve R. Siegwart, A hybrid approach for robust and precise mobile robot navigation with compact environment modeling, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 2, ss. 1111-1116, 2001
- [165] Ullah M., A. Pronobis, B. Caputo, J. Luo, H. Jensfelt ve R. Christensen, Towards robust place recognition for robot localization, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 530-537, 2008
- [166] Ulrich I. ve I. Nourbakhsh, Appearance-based place recognition for topological localization, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 2, ss. 1023-1029, 2000
- [167] Unnikrishnan R. ve A. Kelly, A constrained optimization approach to globally consistent mapping, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, Cilt 1, ss. 564-569, 2002.
- [168] van Schuppen J.H., Control of distributed stochastic systems- Introduction, problems, and approaches, *Proc. of IFAC 18th World Congress*, ss. 4446-4452, Milan, Italy, Aug 2011
- [169] Vig L. ve J.A. Adams, Multi-robot coalition formation, *IEEE Trans. on Rob.*, 22(4), ss. 637-649, 2006
- [170] Wang M. ve H. Lin., An extended-HCT semantic description for visual place recognition, *Int. J. Rob. Res.*, Cilt 30, ss. 1403-1420, 2011
- [171] Watts A., A Dynamic Model of Network Formation, *Games and Econ.Behav.*, 34, ss. 331-341, 2001
- [172] Williams B., M. Cummins, José Neira, Paul Newman, Ian Reid ve Juan Tardós, A comparison of loop closing techniques in monocular SLAM, *Rob. and Aut. Systems*, 2009
- [173] Williams S., G. Dissanayake ve H. Durrant-Whyte, Towards multi-vehicle simultaneous localisation and mapping, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 3, ss. 2743-2748, 2002.
- [174] Wisniewski R., Towards Modelling of Hybrid Systems, *Proc. of the 45th IEEE Conf. Decision & Control*, ss. 911-916, 2006
- [175] Wolf J., W. Burgard, ve H. Burkhardt, Robust vision-based localization by combining an image-retrieval system with monte carlo localization, *IEEE Trans. on Rob.*, Cilt 21(2), ss. 208-216, 2005
- [176] Wu J. ve J. Rehg, Where am I: Place instance and category recognition using spatial PACT, *Proc. of the 2004 IEEE Int. Conf. on Comp. Vision and Patt. Recog.*, ss. 1-8, 2008
- [177] Wurm K.M., C. Stachniss ve W. Burgard, Coordinated multi-robot exploration using a segmentation of the environment, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 1160-1165, 2008
- [178] Yamauchi B. ve R. Beer, Spatial learning for navigation in dynamic environments, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Special Issue on Learning Autonomous Robots*, Cilt 26(3), ss. 496-505, 1996
- [179] Yamauchi B., Frontier-based exploration using multiple robots, *Int. Conf. on Autonomous Agents*, ss. 47-53, 1998
- [180] Zhang Z., Iterative point matching for registration of free-form curves, *Int. Journal of Computer Vision*, Cilt 13(2), ss. 119-152, 1992
- [181] Zhou X. ve S. Roumeliotis, Multi-robot slam with unknown initial correspondence: The robot rendezvous case, *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, ss. 1785-1792, 2006
- [182] Zivkovic Z., B. Bakker ve B. Krose, Hierarchical map building and planning based on graph partitioning, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, ss. 803-809, 2006
- [183] Zlot R. , A. Stentz, M. Dias ve S. Thayer, Multi-robot exploration controlled by a market economy, *IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut.*, Cilt 3, ss. 3016-3023, 2002

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
EMO BİLİMSEL HAKEMLİ DERGİ YAZIM KURALLARI YÖNERGESİ

“EMO Bilimsel Hakemli Dergi”, özgün bilimsel araştırmalar ile ilginç uygulama çalışmalarına yer veren ve bu niteliği ile hem araştırmacılara hem de uygulamadaki mühendislere seslenmeyi amaçlayan hakemli bir dergidir. İlgili alanı Elektrik Mühendisleri Odasına kayıtlı tüm mühendislik disiplinleridir. Yayın dili Türkçe olup, dergide yayınlanacak makaleler ve kısa bildirimler ile ilgili yazım kuralları aşağıda verilmektedir.

Makalelerin basıma hazır tam metni, pdf dosyası olarak <http://edergiportal.emomerkez.net/sayilar> adresindeki derginin **Makale Yönetim Sistemi** üzerinden iletilmelidir. Makale dosyaları, ilk yazarın soyadına göre adlandırılmalı, aynı yazara ilişkin birden fazla bildiri iletilmesi durumunda verilen ada ek olarak numaralandırma da yapılmalıdır.

Bilgisayar ortamında iletilmeyen makalelerin hakemlere gönderilmesi ve değerlendirilmesi olanağı bulunmamaktadır.

Makale yazım kuralları:

- Makale sayfaları, A4 (210 mm x 297 mm) kağıt boyutunda hazırlanmalıdır.
- Sayfa kenar boşlukları:
İlk sayfa için
üst = 3 cm, alt = 3,7 cm, sol = 2 cm, sađ = 2 cm
diğer sayfalar için
üst = 2,5 cm, alt = 3,7 cm, sol = 2 cm, sađ = 2 cm.
- Makale herbiri 80 mm genişliğinde iki sütun halinde yazılmalıdır. Sütunlar arasında 10 mm aralık bırakılmalıdır.
- Makale, Times New Roman yazı tipi ile tek satır aralıklı, iki yana dayalı hizalı olarak yazılmalıdır.
- Makale başlığında, bildiri adı, yazar adları, yazarların çalıştıkları kurumların adları ve e-posta adresleri yer almalıdır.
- Başlıktan sonra dört satır boşluk bırakılarak yazılacak Türkçe özet ve İngilizce özet (abstract) kısımları en az 100, en çok 150 kelimedenden oluşmalıdır.
- Bölüm başlıkları, numaralandırılmalı, yalnızca baş harfleri büyük harflerle yazılmalı ve sütuna ortalanmalıdır.

Makalede kullanılacak yazı tipi boyut ve biçimleri:

Başlık	14 Kalın Yalnızca baş harfleri büyük
Yazar adları	12 <i>İtalik</i>
Kurum adları	12
Özetler	9 <i>İtalik</i>
Alt ve üst simgeler	7
Başlıklar	11 Kalın
Metin	9

- Makale değerlendirme sonuçları, sisteme yüklendikten en geç 2 ay sonra e-posta ile yazarlara bildirilecektir. Aksi belirtilmedikçe yazışmalarda birinci yazarın adresi kullanılacaktır.

Tüm yazışmalar ve ilişkiler <http://bilimseldergi.emo.org.tr> web sayfasında açılacak olan alanda elektronik ortamda yapılacaktır.

Bu yazım kuralları, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu ile EMO Bilimsel Hakemli Derginin yayın kurulunca yürütülür.

