

CIHANNÜMA

TEKNOLOJİ, FEN ve MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ

AKADEMİ DERGİSİ

2023 MART CİLT2 SAYI 1
www.cihannumaakademi.org

**Cihannüma Teknoloji, Fen ve Mühendislik
Bilimleri Akademi Dergisi**
Journal of Cihannuma Technology, Engineering and
Natural Sciences Academy

ISSN: 2822-2342
E-ISSN: 2822-356X

Periyot / Period
Yılda iki sayı yayımlanır.
This journal is published biannually.

Cilt: 2 - Sayı: 1 - Mart 2023
Volume: 2 - Issue: 1 - March 2023

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/cihantefmad>
<http://www.cihannumaakademi.org/cfbad>
www.cihannumaacademy.org

Ankara- TÜRKİYE
Nisan 2024

CİHANNÜMA

**TEKNOLOJİ, FEN
ve MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ**

AKADEMİ DERGİSİ

www.cihannumaakademi.org

Yayımcı / Publisher

Cihannüma Dayanışma ve
İşbirliği Derneği (Adına)
Av. Rıza YORULMAZ

On behalf of the Cihannuma Solidarity and
Cooperation Association
Att. Rıza YORULMAZ

Editör / Editor

Doç. Dr. Kadri
DOĞAN
Artvin Çoruh Üniversitesi, Türkiye

Assoc. Prof. Kadri
DOĞAN
Artvin Çoruh University, Türkiye

dogankadri@artvin.edu.tr

Alan Editörleri / Field Editors

Prof. Dr. Adnan ÇALIK
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Türkiye
Makine Mühendisliği

Prof. Dr. Adnan ÇALIK
Isparta University of Applied Sciences,
Türkiye
Mechanical Engineering

adnancalik@isparta.edu.tr

Prof. Dr. Bayram
Ali ERSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Matematik

Prof. Dr. Bayram
Ali ERSOY
Yıldız Technical University, Türkiye
Mathematics

ersoya@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Erol KAM
İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
Fizik

Prof. Dr. Erol KAM
İstanbul Technical University, Türkiye
Physics

kamerol@itu.edu.tr

Prof. Dr. Doğan
KARADAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Çevre Mühendisliği

Prof. Dr. Doğan
KARADAĞ
Yıldız Technical University, Türkiye
Environmental Engineering

dkaradag@yildiz.edu.tr

Doç. Dr. Abid
BALİN
İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Endüstri Mühendisliği

Assoc. Prof. Dr. Abid
BALİN
İstanbul Univ., Türkiye
Industrial Engineering

abitbalin@istanbul.edu.tr

Doç. Dr. Zeki Ünal
YÜMÜN
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi,
Türkiye
Jeoloji Mühendisliği

Assoc. Prof. Dr. Zeki Ünal
YÜMÜN
Tekirdağ Namık Kemal University, Türkiye
Geological Engineering

zyumun@nku.edu.tr

Doç. Dr. Yaşar KAHRAMAN
Sakarya Üniversitesi, Türkiye
Makine Mühendisliği

Assoc. Prof. Dr. Yaşar
KAHRAMAN
Sakarya University, Türkiye,
Mechanical Engineering

kahraman@sakarya.edu.tr

Doç. Dr. Mehmet Arif KAYA Yalova Üniversitesi, Türkiye Kimya Mühendisliği	Assoc. Prof. Dr. Mehmet Arif KAYA Yalova University, Türkiye Chemical Engineering
marifkaya@yalova.edu.tr	
Doç. Dr. Ümit GÜNEŞ Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye Gemi Mühendisliği	Assoc. Prof. Ümit GÜNEŞ Yıldız Technical University, Türkiye Naval Engineering
ugunes@yildiz.edu.tr	

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Aslan GÜLCÜ Atatürk Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Aslan GÜLCÜ Atatürk University, Türkiye
Prof. Dr. Bayram Ali ERSOY Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Bayram Ali ERSOY Yıldız Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Bayram ŞAHİN Ege Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Bayram ŞAHİN Ege University, Türkiye
Prof. Dr. Bijan Davvaz Yazd Üniversitesi, İran	Prof. Dr. Bijan Davvaz Yazd University, Iran
Prof. Dr. Bünyamin AYDIN Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Bünyamin AYDIN Necmettin Erbakan University, Türkiye
Prof. Dr. Ekrem SAVAŞ Uşak Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Ekrem SAVAŞ Uşak University, Türkiye
Prof. Dr. Erol KAM İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Erol KAM İstanbul Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Fahrettin GÖKTAŞ Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Fahrettin GÖKTAŞ Ankara Yıldırım Beyazıt University, Türkiye
Prof. Dr. Fatih NURAY Afyon Kocatepe Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Fatih NURAY Afyon Kocatepe University, Türkiye
Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Mehmet Hakkı ALMA Kahramanmaraş Sutcu Imam University, Türkiye
Prof. Dr. Hasan GENÇ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Hasan GENÇ Van Yüzüncü Yıl University, Türkiye
Prof. Dr. İsmail KÜÇÜK İstanbul Sebahattin Zaim Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. İsmail KÜÇÜK İstanbul Sebahattin Zaim University, Türkiye

Prof. Dr. Jintai DİNG Tsinhua Cincinnati Üniversitesi, Amerika Birleşik Devletleri	Prof. Dr. Jintai DING University of Cincinnati,, USA
Prof. Dr. Kostaq Hila Tiran Polytechnic Üniversitesi, Arnavutluk	Prof. Dr. Kostaq Hila Polytechnic University of Tirana, Albania
Prof. Dr. Lokman Hakan TECER Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Lokman Hakan TECER Tekirdag Namık Kemal University, Türkiye
Prof. Dr. Lokman KUZU Karabük Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Lokman KUZU Karabük University, Türkiye
Prof. Dr. Mehmet KARACA Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi	Prof. Dr. Mehmet KARACA Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK Istanbul Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Metin GÜMÜŞ Marmara Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Metin GÜMÜŞ Marmara University, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa BÖYÜKATA Yozgat Bozok Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Mustafa BÖYÜKATA Yozgat Bozok University, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa Kasım KARAHOCAGİL Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Mustafa Kasım KARAHOCAGİL Kırşehir Ahi Evran University, Türkiye
Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK İstanbul Ticaret University, Türkiye
Prof. Dr. Nevzat AYDIN Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Nevzat AYDIN Karamanoğlu Mehmet Bey University, Türkiye
Prof. Dr. Sophiana TAHAR Concordia University, Canada	Prof. Dr. Sophiana TAHAR Concordia University, Canada
Prof. Dr. Vatan KARAKAYA Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye	Prof. Dr. Vatan KARAKAYA Yıldız Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Violeta Fotea Alexandru Ioan Cuza Üniversitesi, Romanya	Prof. Dr. Violeta Fotea Alexandru Ioan Cuza University, Romania
Prof. Dr. Salem Abdullah Abdul Wali Khan Üniversitesi Mardan, Pakistan	Prof. Dr. Salem Abdullah Abdul Wali Khan University Mardan, Pakistan
Dr. İbrahim Taşdemir Milli Eğitim Bakanlığı, Türkiye	Dr. İbrahim Taşdemir Ministry of Education, Türkiye,

Dış Temsilciler Koordinatörü
General Coordinator of Foreign Editors

Prof. Dr. Yakup CİVELEK
Ankara Hacı Bayram Veli
Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Yakup CİVELEK
Ankara Hacı Bayram Veli
University, Türkiye

**Dış Temsilciler/ Representative of Foreign
Country**

Levent Ali YILDIZ ABD	Levent Ali YILDIZ USA
Doç. Dr. Necati ANAZ Kanada	Assoc. Prof. Necati ANAZ Canada
Doç. Dr. Süleyman ELİK Kore	Assoc. Prof. Süleyman ELİK Korea
Dr. Öğr. Üyesi Recep YÜRÜMEZ Kırgızistan	Asst. Prof. Recep YÜRÜMEZ Kyrgyzstan
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah TIRABZON Bulgaristan	Asst. Prof. Abdullah TIRABZON Bulgaria

Amaç ve Kapsam

CİHANTEFMAD Teknoloji, Fen ve Mühendislik Bilimleri Akademi Dergisi, teknoloji, mühendislik ve doğa bilimlerindeki son gelişmeleri bilim insanlarına ve okuyucularına ulaştırmayı hedefler. Dergi, bu üç temel alandaki deneysel ve kuramsal çalışmalarını kendisine konu edinir.

CİHANTEFMAD Teknoloji, Fen ve Mühendislik Bilimleri alanlarında yapılan özgün çalışmaları yayımlayan, mevcut bilimsel literatürü geliştirerek bilimsel çevrelere sunan, saygın, bilimsel bir dergi olarak Türkçe, İngilizce ve Arapça dillerinde yazılmış araştırma makalelerine ve eser tanıtma yazılarına yer veren, uluslararası hakemli bir dergidir.

Aim and Scope

JOCTENSA Journal of Cihannuma Technology, Natural Science and Engineering Academy aims to provide scientists and readers with the latest developments in technology, engineering and natural sciences. The journal focuses on experimental and theoretical studies in the abovementioned three main areas.

JOCTENSA is an international peer-reviewed journal that publishes authentic studies in the fields of Science, Technology and Engineering Sciences; expands the existing scientific literature and disseminates the studies within scientific circles. As a respected scientific journal, it includes research articles and work reviews written in Turkish, English and Arabic languages.

Dizinler / Indexing and Abstracting

Cihantefmad Akademi Dergisi aşağıdaki uluslararası indeksler tarafından taranmaktadır:

JOCTENSA is indexed and listed by the following international indexing services:

- Crossref
- Google Scholar
- Asos Index

Makale İşleme Ücreti / Article Processing Charge

Makaleler için makale işleme ücreti talep edilmez.

The journal does not charge an Article Processing Fee (APC).

Hakemlik/ Peer-review

Dergi çift taraflı kör hakemlik sistemi kullanır. Hakem listesi her yılın sonunda dergi web sayfasında yayımlanır.

The journal uses a double-sided blind review system. The referee list is published on the web page at the end of each year.

Açık Erişim / Open Access

Dergi açık erişimlidir (CC BY-NC).

The journal is an Open Access (CC BY-NC).

Adres / Executive Office

Hacı Bayram Mah. Hařimi (Kutlu) Sok. No: 12
Altındađ, Ankara, Türkiye
cihantefmad@gmail.com

Web siteleri / Websites

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/cihantefmad>
<https://www.cihannumaakademi.org/cfbad>
www.cihannumaacademy.org

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

- Metin Gümüş ve A. Korhan Binark**..... 10-43
Dizel Motorların Tutuşma Gecikmesini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi
Investigation of Factors Affecting on the Ignition Delay in Diesel Engines
- Yunus Atalan** 44-55
Gecikmeli Diferansiyel Denklemlerin İteratif Çözümleri Üzerine
On the Iterative Solutions of Delay Differential Equations
- Muhammed Çağrı Aksu** 56-67
Aday Öğrenci Web Sitelerinin Performans, Erişilebilirlik ve Arama Motoru Optimizasyonu Açısından İncelenmesi
Analysis of Prospective Student Websites in Terms of Performance, Accessibility and Search Engine Optimization
- Elanur Adar Yazar** 68-77
Tıbbi ve Aromatik Bitki Üretiminde Organik Gübre:
GZFT Analizi ve Stratejileri
*Organic Fertilizer in Medicinal and Aromatic Plant Production:
SWOT Analysis and Strategies*

Dizel Motorlarında Tutuşma Gecikmesini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi

Investigation of Factors Affecting on The Ignition Delay in Diesel Engine

Metin GÜMÜŞ¹, A. Korhan BİNARK²

1) Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,

ORCID: 0000-0002-0945-6827, mgumus@marmara.edu.tr

2) İstanbul Sabahattin Zaim Ünv., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,

ORCID: 0000-0001-7504-7127, ahmet.binark@izu.edu.tr

Geliş Tarihi: 17/01/2024 – **Kabul Tarihi:** 04/04/2024

DOI: 10.55205/joctensa.21202380

ATIF: Gümüş, M., Binark, A. K., (2023). Dizel Motorlarında Tutuşma Gecikmesini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2 (1), 10-43.

Öz

İçten yanmalı motorlarda ekonomikliğin sağlanması, çevre sağlığı yönünden problem oluşturan hava kirliliğinin ve motor gürültüsünün azaltılması için yanma olayının önemli noktaları bilinmelidir. Dizel motorlarında yanma olayı püskürtme ile başlayıp, pek çok sayıda parametrenin topluca etkisi altında cereyan eden ve gerçekte egzoz içinde bile kısmen devam eden karmaşık bir olaydır. Yanma olayı üç ayrı safha halinde incelenmektedir. Bunlar tutuşma gecikmesi, ani yanma ve kumandalı (kontrollü) yanma safhalarıdır. Tutuşma gecikmesi yakıt püskürtmenin başladığı andan silindir basıncının yüksek hızda arttığı ana kadar geçen süredir. Tutuşma gecikmesi süreci; yanmayı, dizel vuruntusunu ve buna bağlı olarak motorun performansını ve gürültüsünü, bununla birlikte is teşekkülü gibi yanmanın daha sonraki safhalarını da etkilemektedir. Tutuşma gecikmesinin buharlaşma süresinden daha uzun olması durumunda, buharlaşan yakıt ve hava karışımı aniden yanarak yanma hızı ve buna bağlı olarak basınç yükselme hızı çok yüksek olur. Bu oluşum, dizel vuruntusu olarak adlandırılır. Dizel vuruntusunun en önemli sonuçlarında birisi motor parçalarında oluşan titreşimler ve titreşimlerden mütevellit motor gürültüsüdür. Bu çalışmada; tutuşma gecikmesini etkileyen önemli faktörlerin (sıkıştırma oranı, püskürtme avansı, emme havası sıcaklığı, hava fazlalık katsayısı) tutuşma gecikmesi üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenerek tutuşma gecikmesinin kontrollü değiştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca deney sonuçlarından yararlanılarak tutuşma gecikmesini etkileyen ana faktörlerin etkileri tek safhalı yarı ampirik denklemle ifade edilmiştir. Bu denklem ile bulunan ve deneylerden elde edilen tutuşma gecikmesi değerlerinin korelasyon katsayısı 0,9525 bulunmuştur. Tutuşma gecikmesi sıkıştırma oranı ve emme havası sıcaklığının artmasıyla azalmış, püskürtme avansı ve hava fazlalık katsayısının artmasıyla ise artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tutuşma gecikmesi, Sıkıştırma oranı, Püskürtme avansı, Hava sıcaklığı, Ampirik denklem.

* Sorumlu Yazar: mgumus@marmara.edu.tr

Abstract

Important points of combustion processes have to be known in order to provide fuel economics and decreasing air pollution that aggravates environment and engine noise emission. Combustion of diesel engine, which starts with injection, takes place in effect of numerous parameters as a whole and even continues partially in exhaust pipe, is complicated event. Combustion is investigated as three phases; ignition delay, rapid combustion and controlled combustion. Ignition delay is period of time from start of fuel injection to increasing exponentially of pressure or temperature, which represent, spontaneous combustion. There are effects of ignition delay on combustion and diesel knock so ignition delay effects engine performance, exhaust emissions and engine noise. If ignition delay is equal or longer than period of fuel evaporation, very high rapid increasing pressure originating from instantaneous combustion occurs and that is called diesel knock. One of the most important results of diesel knock is vibration of engine equipment and engine noise originates from engine equipment vibration. In this study, effects of important factors (compression ratio, fuel injection timing, intake air temperature, equivalence ratio) on the ignition delay have been investigated experimentally so that ignition delay can be changed under control. Furthermore, effect of main factors that affect ignition delay has been expressed with one stage half empiric equation. The correlation coefficient of the ignition delay values found with this equation and obtained from experiments was 0.9525. Ignition delay has been decreased with increasing compression ratio and intake air temperature, and increased with increasing fuel injection timing and excess air coefficient.

Keywords: Ignition delay, Compression ratio, Fuel injection timing, Air temperature, Empiric equation.

GİRİŞ

İçten yanmalı motorlarda verimliliğin sağlanması, hava kirliliğinin ve motor gürültüsünün azaltılması için yanma olayının safhalarının bilinmesi gerekmektedir. Dizel motorlarında yanma olayı püskürtme ile başlayıp, pek çok sayıda parametrenin topluca etkisi altında cereyan eden ve gerçekte egzoz içinde bile kısmen devam eden karmaşık bir olaydır (Warnatz, 2001). Yanma olayı üç ayrı safha halinde incelenmektedir. Bunlar tutuşma gecikmesi, ani yanma ve kumandalı (kontrollü) yanma safhalarıdır (Lucian, 2021).

Yanma olayının başlaması çeşitli şekillerde olmaktadır. Dizel motorlarında yanma olayının başlangıcı kendi kendine tutuşma ile sağlanmaktadır. Reaktif bir karışım belirli bir basınç ve sıcaklığa ulaşır bu şartlarda bekletilince bir süre sonra kendi kendine tutuşabilmektedir. Bu şartlar tutuşmanın başladığı şartlar olsa bile karışım bir süre bu şartlarda tutuşmadan kalabilmekte ve daha sonra eksplozyon görülmektedir. Tutuşmanın olmadığı bu süreye tutuşma gecikmesi (TG) denir (Borat, 1995). Dizel motorlarında ise tutuşma gecikmesi (Ignition Delay) püskürtme başlangıcından basınç veya sıcaklık değişiminin eksponansiyel artış göstermeye başladığı ana kadar geçen süredir (Borman, 1998). Bu sürenin başında sisteme sıvı fazda sokulan



yakıt, önce dinamik ve termik etkilerle parçalanmakta ve ısınarak buharlaşmaya başlamaktadır. Bu andan itibaren yakıt buharı hem türbülans ve difüzyon etkisi ile yayılarak hava ile karışmakta, hem de kimyasal dönüşümlere uğrayarak tutuşmaya hazırlanmaktadır. Kimyasal reaksiyonlar sırasında meydana gelen pek çok sayıda ara ürün ve ürünler yayılarak yeni yakıt buharı ve hava ile karışıp kimyasal reaksiyonları sürdürmektedirler. Görüldüğü gibi ilk safhadaki olaylar tamamen fiziksel iken, ikinci safhada fiziksel ve kimyasal olaylar birlikte cereyan etmektedir. Bu nedenle tutuşma gecikmesi, fiziksel tutuşma gecikmesi (FTG) ve kimyasal tutuşma gecikmesi (KTG) olarak kendi içinde iki bölüme ayrılarak incelenir (Laat, 2017).

Tutuşma gecikmesi sonundaki etkili büyüklüklere bakıldığında bu bölgede düşük sıcaklıklardan dolayı kimyasal reaksiyonların hızları çok düşüktür. Ayrıca ekspanansiyel karakteristiklerinin başlangıç kısımlarında bulduklarından aktif öge ve ara ürünlerin mutlak değerleri çok küçük mertebededir. Bu nedenle tutuşma sonrası bölgesinin aksine, olay kimyasal reaksiyonlar tarafından kontrol edilmektedir ve olaya kimyasal ve termik açıdan bakmak gerekir (Yetkin, 1975).

Tutuşma gecikmesinin dizel motorlarında önemli bir husus teşkil ettiğini ve araştırılması gerektiğini, bu konuda önemli çalışmalarıyla bilinen Prof. Dr. Necmettin Erbakan'ın "Diesel Motorlarında Tutuşma gecikmesi Hakkında Yeni Araştırmalar" başlıklı doçentlik tezindeki "Diesel motorlarında tutuşma gecikmesi ve yanma gidişi, motorun ana konstruktif hatlarının tespitinde, inşa olunmuş bir motora uygun yakıt seçiminde ve verilen bir yakıt – motor hali için en uygun işletme şartlarının tespitinde göz önünde bulundurulması ve araştırılması icap eden ana motor problemlerinden birisidir." ifadelerinden anlaşılmaktadır. Erbakan, "Diesel Motorlarında Tutuşma Evresine Kadarki Süreçlerin Teorisi" başlıklı doktora tezinde dizel motorlarında yakıtın püskürtülmesinden tutuşmasına kadar cereyan eden olayları incelenmiş, sınır tabaka ve reaksiyon kinetiği teorileri yardımıyla damlaların etrafındaki yakıt buharı–hava karışımı tabakası içerisinde tutuşma hazırlıklarının gelişimini tetkik etmiştir. Doçentlik tezinde ise, tutuşma gecikmesini yanma olayı ile beraber ele almış, problemin analitik çözümünün ancak belirli koşullarda mümkün olması ve çok zaman alıcı olmasından dolayı, pratik ihtiyaçlar doğrultusunda deneysel olarak incelemiştir.

Tutuşma gecikmesi süresince meydana gelen olayların, yanmanın ve dizel vuruntusunun dolayısıyla motorun performansı ve gürültüsü üzerindeki direkt etkilerinin yanı sıra, is teşekkülü gibi çok daha sonraki sonuçları bile etkilediği bilinmektedir (Gardiner, 1999). Dizel motorlarında yakıt sıvı damlacıklar halinde püskürtüldüğünden karışım homojen olmamakta, tam buharlaşma için epey zaman geçmektedir. Bu zaman tutuşma gecikmesinden daha uzun olduğunda, yanma başladıktan sonra basınç yükselme hızı yüksek olmaz ve yanma olayı normal seyrinde gelişir. Ancak tutuşma gecikmesi buharlaşma süresine kıyasla eşit veya daha uzun olursa o zaman bütün karışım bir anda yanmaya hazır olacağından yanma hızı dolayısıyla basınç yükselme hızı çok yüksek olur. Buna dizel vuruntusu (diesel knock) denir (Borman, 1998).

Dizel vuruntusunun en önemli sakıncası yüksek hızlı basınç artışı ve buna bağlı olarak oluşan mekanik ve termal gerilmelerdir. Aynı yüksek basınç değerlerine daha düşük basınç artış hızıyla ulaşılması halinde bu gerilmeler daha az olur. Bu yüksek basınç artışının diğer bir sonucu, sebep olduğu titreşimler ve buna bağlı oluşan gürültüdür. Bu nedenle dizel motorlarının tasarımında bu iki faktör önemle dikkate alınmalıdır (Borat, 1992).

Tutuşma gecikmesi olayını etkileyen büyüklüklerin çeşitli ve değişken olması, karışım teşkili ve yakıtın tutuşmaya hazırlanması olayının motorda incelenmesini güçleştirmektedir. Bu sebeple muhtelif araştırmacılar özel olarak geliştirilmiş bomba, tüp, vs. gibi aparatlarda olaya etkileyen faktörleri incelemişler ve bu deneylerin sonuçlarına dayanan bazı ampirik ifadeler vermişlerdir (Chigier, 1991; Beerer, 2009;). Kendi kendine tutuşma gecikmesinin deneysel sonuçlara dayanan ampirik ifadeleri daha çok saf yakıtların homojen reaktif karışımları için verilmektedir (Burcat, 1985; Qin, 2001). Bu aparatlarla yapılan deney sonuçlarının gerçek motora uydurulması için irdelemeler yapılmış, ayrıca bu sonuçlar motor deneylerine ait tutuşma gecikmesi ölçmeleri ile kıyaslanmıştır. Bu arada çeşitli işletme büyüklükleri ile motor parametrelerinin olaya etkileri incelenmiştir (Chigier, 1991).

Reaktif karışımların tutuşma gecikmesi süresince uğradığı değişimler ve tutuşma olayı, klasik içten yanmalı motorlarda (Bolt, 1970), yakıtların özelliklerini incelemek üzere hazırlanmış CFR (Combustion Fuels Research Corporation) motorlarında (Sahetchian, 1990; Leppard, 1991), tutuşma ve yanma olaylarının fotoğraf veya kamera tekniğiyle incelenmesine olanak



sağlayan özel motorlarda (Barituad, 1994) incelenmediği gibi akış reaktörleri (Davis, 1999; Cavaliere, 1993; Beerer, 2009), çabuk sıkıştırma makineleri (Brett, 2001; Minetti, 1995), şok tüpleri (Fieweger, 1997; Abu-Elyazeed, 2015; Hoang, 2015) ve sabit hacimli yanma odaları (Taylor, 1985; Lapuerta, 2017) gibi farklı şekillerde hazırlanmış deney sistemleriyle incelenmektedir. Bu sistemlerin herbiri farklı amaç ve deney şartlarında kullanılmıştır. Örneğin çabuk sıkıştırma makineleri düşük sıcaklıklarda ve tutuşma gecikmesinin uzun olduğu durumlarda kullanılırken şok tüpleri yüksek sıcaklıklarda ve tutuşma gecikmesinin düşük olduğu durumlarda kullanılmıştır (Ciezki, 1993). Tutuşma gecikmesi yakıtın setan sayısının bir özelliği olarak, aynı şartlarda farklı yakıtlardaki süresi farklı karışımlar olarak çok farklı ölçüm sistemlerinde araştırılmıştır (Hoskin, 1992; Dimitriu, 1990).

Tutuşma gecikmesini açıklamak için zincir reaksiyonu teorisine dayanan kalitatif modellere literatürde karşılaşmak mümkündür. Homojen ortamlarda ki tutuşma olayıyla ilgili detaylı kimyasal kinetik mekanizmalar Wilk, 1989; Müller, 1992; Keunsoo, 2023) ve indirgenmiş kinetik mekanizmalar (Varatharajan, 2001; Soyhan, 2000) oluşturulmaktadır. Heterojen reaktif karışımların kendi kendine tutuşma gecikmesini teorik olarak belirlemek için fiziksel ve kimyasal olayları içeren modeller geliştirilmiştir (Gutheil, 1993; Pinchon, 1989). Dizel motorlarında tutuşma gecikmesi fenomenolojik modellerle belirlenmeye çalışıldığı gibi tutuşma gecikmesini kimyasal kinetik açıdan inceleyen global tek basamaklı reaksiyon mekanizmaları veya detaylı kimyasal kinetik mekanizmalarının kullanıldığı tek boyutlu sayısal modellerle de belirlenmeye çalışılmaktadır. Üç boyutlu sayısal modeller kullanıldığında çözümün kolaylaşması için indirgenmiş kimyasal kinetik modeller tercih edilmektedir (Rente, 2001; Sahin, 2001; Kang, 2001; Hamosfakidis, 2003; Shrestha, 2022).

Tutuşma gecikmesinin farklı alternatif yakıt türleri ve bunların fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre davranışı bir çok araştırmanın konusunu oluşturmuştur. Dizel alkol karışımları (Jamrozik, 2017) veya farklı alkollerin dizel ile karışımları (Lapuerta, 2017) dizel motorun farklı çalışma şartlarında incelenmiştir. Ayrıca farklı kaynaklardan üretilen biodizel yakıtların dizel yakıtı ile oluşturulan karışımları hem deneysel hem de teorik olarak incelenmiştir (Aldhaidhawi, 2018; Allen, 2011; El-Kasaby, 2013).

Yukarıdaki açıklamalardan dizel motorlarında vuruntuyu tayin eden en önemli faktörün tutuşma gecikmesi olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla tutuşma gecikmesini olumlu veya olumsuz yönde etkileyen bütün faktörler dizel vuruntusunda da etkili demektir. Tutuşma gecikmesi süresini kontrol ederek dizel motorlarındaki vuruntu oluşumunu engellemek ve motor gürültüsünü azaltmak için, tutuşma gecikmesi süresince oluşan fiziksel ve kimyasal olayları incelemek, tutuşma gecikmesini etkileyen faktörleri belirlemek ve bunların etkilerini araştırarak tutuşma gecikmesini kontrol etmek gerekir.

Bu çalışmada; sürekli yakıt ilavesi olan homojen olmayan yakıt / hava sistemlerinin bir örneği olan, dizel motorunun değişik işletme şartlarının (püskürtme avansı, emme havası sıcaklığı vb.) ve yapısal (sıkıştırma oranı) büyüklüklerinin tutuşma gecikmesi üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiş ve tutuşma gecikmesi bu deneysel çalışma sonuçlarına dayanan yarı ampirik tek safhalı denklemle ifade edilmiştir.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada tek silindirli dizel motorunda, tutuşma gecikmesinin sıkıştırma oranı, püskürtme avansı ve emme havası sıcaklığına göre değişimi belirlenmiştir. Bu safhada bu parametrelerin değişiminin ve tutuşma gecikmesi ölçümünün nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Deneyler Marmara Üniversitesi Otomotiv Anabilim Dalı Ölçme Laboratuvarında yapılmıştır. Tutuşma gecikmesi süresinin muhtelif işletme parametrelerinin etkisi altında deneysel olarak tespiti tek silindirli dizel motorunda yapılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney Motorunun Teknik Özellikleri

Motorun markası ve modeli	Lombardini 6 LD 400
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	86 mm
Strok	68 mm
Sıkıştırma Oranı	18/1
Supap Düzenlemesi	Alttan kamlı, iticili, 2 supaplı
Soğutma Sistemi	Hava soğutmalı
Maksimum Motor Devri	4000 d/d
Maksimum Motor Gücü	21 N.m
Maksimum Motor Momenti	8 kW

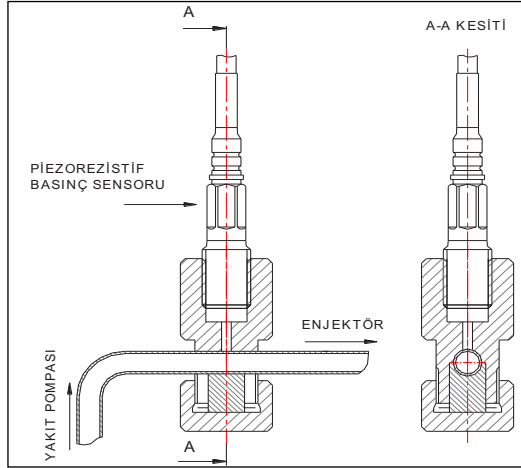
Yakıt püskürtme sistemi statik avanslı tek elemanlı bir pompa ve dört delikli bir enjektörden oluşmaktadır. Deneylede avans değişimi pompanın statik avansı değiştirilerek yapılmıştır. Pompanın statik avansı pompayla motor bloğu arasındaki metal conta kalınlıklarının değiştirilmesiyle ayarlanmıştır. Pompanın statik avansının conta kalınlığına göre değişiminin belirlenmesinde SUN marka MEA 1500 SL model motor analizörü kullanılmıştır. İstenilen püskürtme avansının ayarlanmasında ölçüm verilerinin kullanılmasıyla yapılan regresyon analiziyle elde edilen üçüncü dereceden bir polinom kullanılmıştır. Enjektör memesi dört delikten oluşmakta, delik çapları 0.21 mm ve delik açısı 1550'dir. Enjektör yayının altına konulan basınç ayar pullarıyla yay gerilimi değiştirilerek püskürtme basıncı değiştirilebilmektedir. Enjektörün yakıt püskürtme basıncı 195 Bar olarak ayarlanmıştır. Emme havası ölçüm sisteminin giriş kısmına bir elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir. Emme havasının sıcaklığı bir termostatla sürekli kontrol edilerek elektrikli ısıtıcının besleme devresi kontrol edilmektedir. Bu sistemle, emme havası sıcaklığı 25,55 ve 85 °C değerlerinde ayarlanmıştır. Motorun sıkıştırma oranının tutuşma gecikmesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için 14-22 arasında değiştirilmiştir. Bu değişiklik silindir ve silindir kapağı arasındaki conta kalınlığının değiştirilmesiyle sağlanmıştır. Deneyleler CUSONS marka tek silindirli motor dinamometresinde yapılmıştır. Dinamometre motora ilk hareketi vermede, motoru yanma olmaksızın tahrik etmede ve motorun yüklenmesinde kullanılabilir. Deneylelerde Tablo 2'de özellikleri verilen motorin yakıtı kullanılmıştır.

Tablo 2. Deneylelerde Kullanılan Motorin Yakıtı Özellikleri

Fiziksel görünüm	Ortam sıcaklığında sıvı halde
Renk (ASTM D1500)	Açık sarı/yeşil karışımı
İlk kaynama noktası	1700 C
Son kaynama noktası	3850 C
Yoğunluk (EN ISO 3675)	830 kg/m ³ (150 C)
Kinematik viskozite (EN ISO 3104)	2,4 mm ² /s (400 C)
Parlama noktası (EN ISO 2719)	Minimum 510 C
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	>2500 C
Özgül ısı (DIN 51900)	43150 kJ/kg
Setan sayısı	50

Tutuşma gecikmesi süresinin muhtelif işletme parametrelerinin etkisi altında deneysel olarak tespiti, yüksek basınçlı yakıt borusunun basınç değişimi ve yanma odası basıncının değişimi incelenerek yapılmıştır. Ayrıca

yakıt püskürtme anının ve yanma odası basıncının üst ölü noktaya göre değişiminin belirlenmesi için elektromanyetik üst ölü nokta sensörü ve krank konum sensörü kullanılmıştır. Tutuşma gecikmesinin belirlenmesi için bir basınç ölçme sistemi kurulmuştur. Bu sistemde enjektör püskürtme anının tespit edilmesinde piezoresistif basınç sensörü ve yanma odası basıncı ölçümünde ise hava soğutmalı quartz basınç sensörü kullanılmıştır. Bu sensörlerden alınan sinyallerin filtre edilmesi ve yükseltgenmesi için amlifikatörler kullanılmıştır. Amlifikatörlerden alınan verilerin derlenmesinde ve sayısallaştırılıp bilgisayara aktarılmasında dijital osiloskop kullanılmıştır. Yüksek basınçlı yakıt borusuna monte edilen piezoresistif basınç sensörü mümkün olduğu kadar enjektöre yakın monte edilmiştir. Montaj resmi ve montaj görüntüsü Şekil 1 ve 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Piezoresistif Basınç Sensorunun Montaj Resmi

Piezoresistif basınç sensörü ve sensör amlifikatörünün özellikleri Tablo 3 ve 4'te verilmiştir.

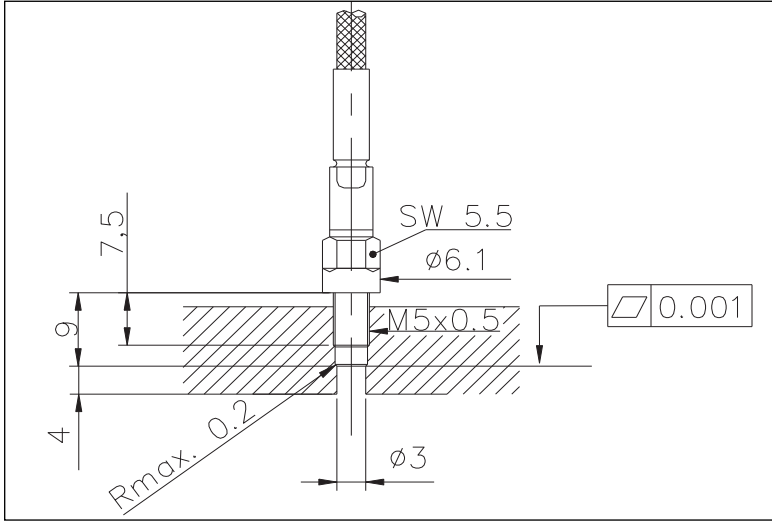
Tablo 3. *Piezoresistive Basınç Sensörü (Kistler marka 4067 A2000 model)*

Ölçüm aralığı	bar	0...2000
Aşırı yükleme	bar	2500
Ölçüm Eşiği	mbar	200
Hassasiyet	mV/bar	5
Doğal frekans	kHz	>100
Sinyal yükselme süresi	µs	<10
Çıkış sinyali (basınç)	V	0...10
Çıkış sinyali (sıcaklık)	mV/K	10
Besleme (amplifikatörün)	VDC	18...30
Doğrusallık ve histerizlik	%FSO	<±1
Ölçüm sıcaklık aralığı	°C	10...120
Min/Max sıcaklık aralığı	°C	-40/140
Sıkma momenti	Nm	15
Titreşim direnci	g	1000

Tablo 4. *Piezoresistive Basınç Sensörü Amplifikatörü (Kistler marka 4618 model)*

Sensor besleme akımı	mA	1,5 ± 3%
Sensor besleme gerilimi	VDC	18...30
Giriş gerilimi aralığı	mV	50...1000
Hassasiyet	%FS	<±0,2
Materyal	Alüminyum	
Ağırlık	g	250

Quartz kristal basınç sensörü motorun silindir kafasına monte edilmiştir. Sensorun yanma odasında oluşan yüksek sıcaklıklardan etkilenmemesi için silindir kafasındaki konumu piston oyuğuna gelmeyecek şekilde ayarlanmış ve ayrıca sensor silindir kafasının yüzeyinden 4 mm içeriye monte edilmiştir. Sensorun soğutulması motorun hava soğutma sisteminden yararlanarak yapılmaktadır. Sensorun montaj resmi ve montaj görüntüsü Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Quartz Kristal Basınç Sensörü Motorun Silindirik Kafasına Montajı

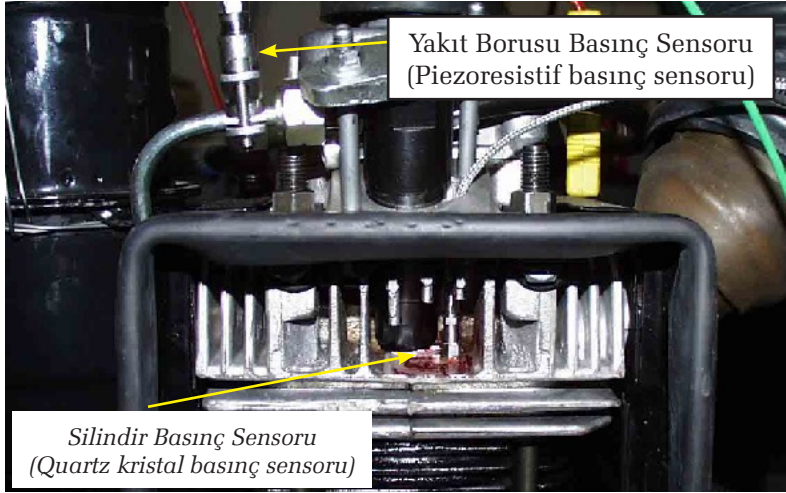
Quartz kristal basınç sensöründen alınan dataların filtre edilmesi ve yükseltilmesi için içten yanmalı motorların basınç ölçümlerinde kullanılan çok kanallı bir amlifikatör kullanılmıştır. Sensörün ve sensör amlifikatörünün özellikleri Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Quartz Kristal Basınç Sensörü (Kistler marka 6052B model)

Ölçme aralığı	bar	0...250
Aşırı yükleme	bar	300
Hassasiyet	pC/bar	≈-20
Doğal frekans	kHz	≈130
Doğrusallık	%FSO	<±0,4
Ölçüm sıcaklık aralığı	oC	-50...400
Sıkma momenti	Nm	1,5

Tablo 6. Çok Kanallı Amplifikatör (Kistler marka 5644A model)

Besleme gerilimi	V DC	± 15
Akım sarfiyatı	mA	< 80
Kanal sayısı		2
Hassasiyet	%	$< \pm 1$
Sensör hassasiyeti	pC/M.U	1...99.9
Ölçü skalası	M.U./V	1...500
Ölçüm sıcaklık aralığı	°C	0...60
Min./Max.sıcaklıklar	°C	-10...60
Titreşim direnci	gp	10

**Şekil 3. Basınç Sensorlarının Montaj Resmi**

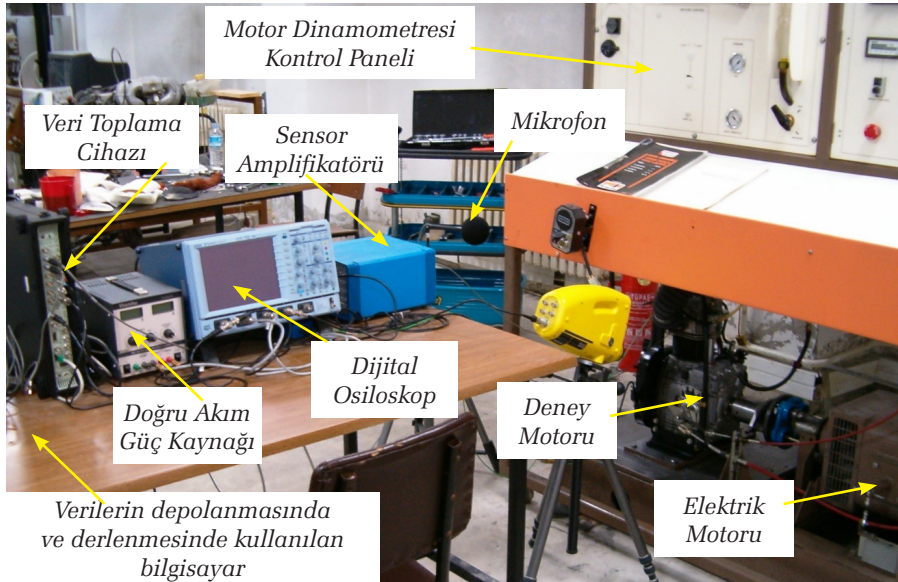
Pistonun üst ölü nokta ve krank konumunu belirlemek için iki ayrı elektromanyetik sensor kullanılmıştır. Krank konumunu belirleyebilmek için motorun orijinal volanı değiştirilerek üzerine dişli çark monte edilen yeni bir volan kullanılmıştır. Ayrıca üst ölü nokta bilgisini alabilmek için aynı volanın alın kısmına bir delik açılmıştır. Elektromanyetik sensorun biri piston üst ölü noktada iken bu delik karşısına monte edilmiştir. Elektromanyetik sensorun diğeri ise dişli çarkın karşısına yerleştirilmiştir. Sensorlardan alınan verilerin değerlendirilmesi ve sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına

aktarılması LeCroy marka LT374 model renkli ekran bir dijital osiloskopa gerçekleştirilmiştir. Osiloskobun özellikleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Dijital Osiloskop (LeCroy marka LT374 model)

Kanal sayısı	4
Band genişliği	500MHz
Hassasiyet (50 Ω veya 1M Ω)	2mV~10V/div
Timebase	aynı anda asıl ve dört bağımsız zoom izi
Kademeler	500ps/div - 1000s/div
Saat Doğruluğu	≤ 10 ppm
Örnekleme Hızı	
1 Kanal Max.	4GS/s
2 Kanal Max.	4GS/s
3-4 Kanal Max.	2GS/s
Maksimum Kayıt Nokta/Kanal	
1 Kanal Max.	500k / 2M / 8M
2 Kanal Max.	500k / 2M / 8M
3-4 Kanal Max.	250k / 1M / 4M

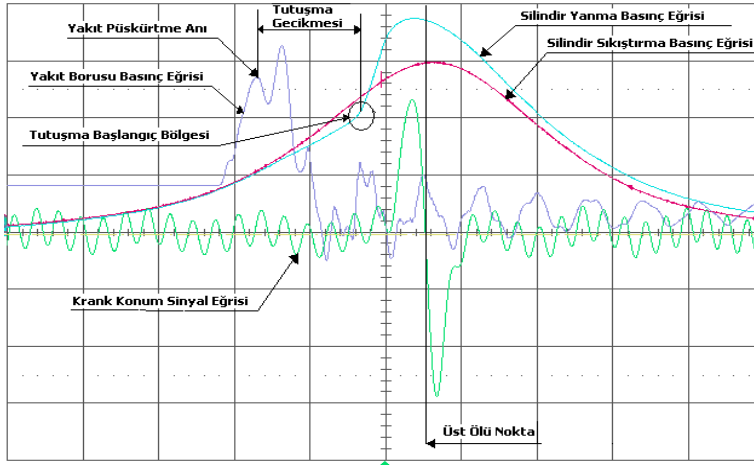
Bu çalışmanın deneysel bölümünde kullanılan deney seti ekipmanlarının topluca genel görünümü Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Deneysel çalışmanın genel görünümü

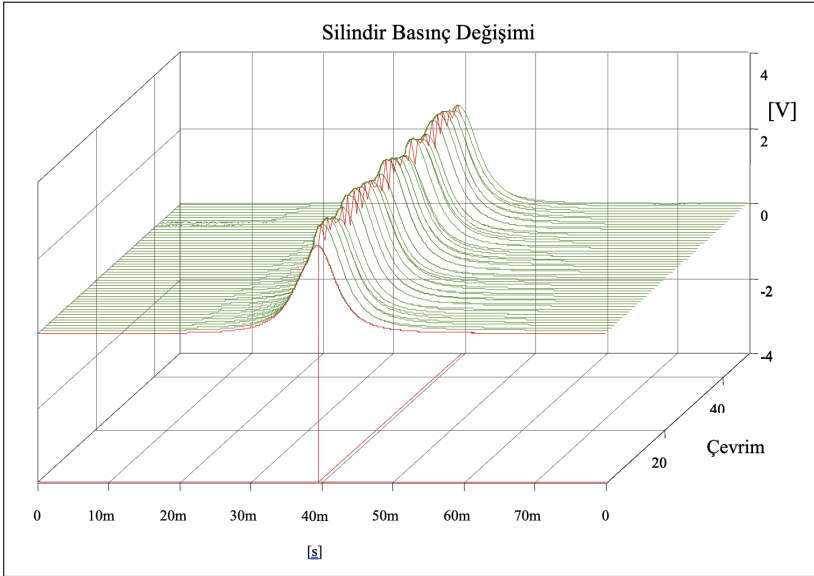
DENEYSSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Tutuşma gecikmesi süresinin muhtelif işletme parametrelerinin etkisi altında deneysel olarak tespiti, yüksek basınçlı yakıt borusunun basınç değişimi ve yanma odası basıncının değişimi incelenerek yapılmıştır. Tutuşma gecikmesinin belirlenebilmesi için yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü anın ve yanmanın başladığı anın belirlenmesi gerekmektedir. Yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü an; yüksek basınçlı yakıt borusunda basıncın artışından sonra basıncın düşmeye başladığı an yani basınç değişim eğrisinin eğiminin negatif değer aldığı ilk an olarak belirlenmiştir. Yanmanın başladığı an; yanma odasındaki ani basınç artışının meydana geldiği an, diğer bir ifadeyle basınç değişim eğrisi eğiminin (dp/dQ) maksimum olduğu an olarak belirlenmiştir. Ayrıca yakıt püskürtme anının ve yanma odası basıncının üst ölü noktaya göre değişiminin belirlenmesi için elektromanyetik üst ölü nokta sensörü ve krank konum sensörü kullanılmıştır. Yakıt borusu basınç değişim eğrisi, silindirdeki yanma sonucundaki ve sıkıştırma sonucundaki basınç değişim eğrisi ve krankın konumunu belirleyen elektromanyetik sensörün sinyal değişim eğrisinin osiloskop ekranındaki görünümü Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5. Sensorlardan alınan sinyallerin osiloskop ekranındaki görünümü

Tutuşma gecikmesi 5 farklı sıkıştırma oranı, 3 farklı püskürtme avansı ve 3 farklı taze dolgu sıcaklığı kombinasyonundan oluşan toplam 45 farklı motor çalışma şartlarında incelenmiştir. Özellikle yakıt püskürtme karakteristiğinin değişiminden kaynaklanan aynı motor çalışma şartlarında çevrimden çevrime silindir basınç değişimleri meydana gelmektedir. Meydana gelen bu değişimlerin tutuşma gecikmesi ölçümündeki etkisini azaltmak için tutuşma gecikmesi 50 çevrimin ortalaması alınarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Çevrimden çevrime meydana gelen silindir basınç değişimleri

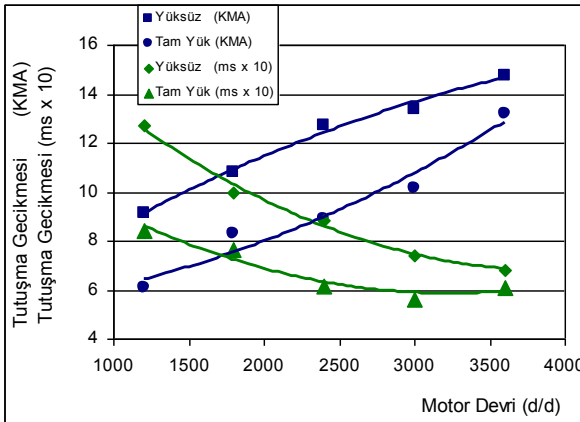
Çevrimden çevrime meydana gelen silindir basınç değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Maksimum silindir basınç seviyelerinde değişimler olmaktadır ve bu değişim sensordan alınan sinyal değeri olarak 2,07-2,98 volt arasındadır.

Tutuşma gecikmesinin yanma gürültüsü üzerindeki etkisinin ve dolayısıyla yanma gürültüsünün motor gürültüsü üzerindeki etkisinin yüksek olduğu motor işletme şartlarının belirlenmesi için öncelikle silindir basınç seviyesi ve motor gürültü seviyesi spektrumları motor devrine ve motor yüküne göre incelenmiştir. Silindir basınç seviyelerinin yüksek olduğu düşük devir ve kısmi yük (1200 d/d, ¼ yük) motor işletme şartlarında sıkıştırma

oranının, püskürtme avansının ve taze dolgu sıcaklığının tutuşma gecikmesi üzerindeki etkileri incelenmiş ve tutuşma gecikmesinde meydana gelen değişimlerin yanma gürültüsüne olan etkisi incelenmiştir. Ölçümler duyma eşiği olan 20 mPa ses basıncı referans alınarak silindir ses basıncı seviyesi dB olarak ve A-ağırlıklı filtre kullanılarak dB(A) olarak belirlenmiştir. Silindir basınç seviyeleri logaritmik frekans ekseninde 50 çevrimin silindir basınç seviyelerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Silindir basınç seviyeleri ve motor gürültü seviyeleri 1/3 oktav bandında 50 çevrimin gerçekleştiği süre boyunca ölçüm alınarak belirlenmiştir. Ayrıca silindir basınç seviyeleri ve motor gürültülerinin sürekli eşdeğerleri ölçülmüştür.

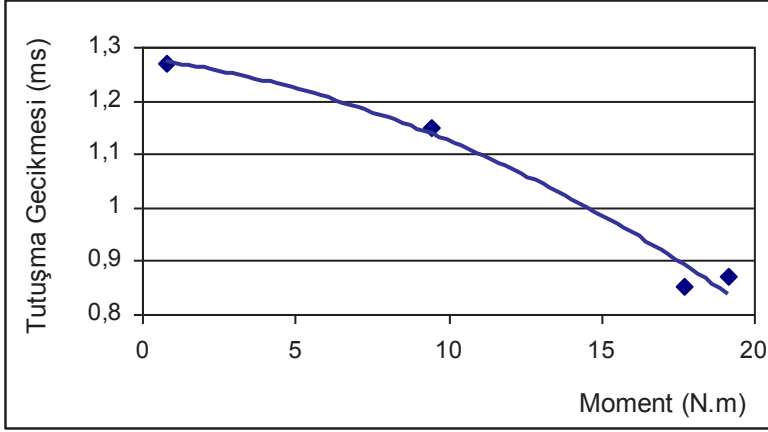
Tutuşma Gecikmesinin Etkili Olduğu Şartların Belirlenmesi

Tutuşma gecikmesi süresi (ms) motor devrinin artmasıyla azalırken tutuşma gecikmesi krank mili açısı (KMA) ise motor devrinin artmasıyla artmaktadır. Motor devrinin artmasıyla tutuşma gecikmesi süresinde(ms) meydana gelen kısalma hava yakıt karışımının daha hızlı bir şekilde sıkıştırılması sonucunda gerek hava hareketlerinin artırılıp fiziksel tutuşma gecikmesinin azaltılması ve gerekse karışım sıcaklık ve basınçlarının daha hızlı bir şekilde artırılmasıyla kimyasal tutuşma gecikmesinin kısaltılmasıyla sağlanmaktadır. Ancak tutuşma gecikmesi süresindeki bu azalmaya rağmen krank mili açısına göre tutuşma gecikmesi artmaktadır. Bu değişim Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Tutuşma gecikmesinin motor devrine göre değişimi

Tutuşma gecikmesi süresi motor yükünün artmasıyla azalmaktadır. Motor yükünün artmasıyla tutuşma gecikmesinde meydana gelen bu azalma özellikle karışımın zenginleşmesinden ve motor çalışma sıcaklığının artmasından dolayı olmaktadır. Tutuşma gecikmesinin motor yüküne göre değişimi Şekil 8’de gösterilmiştir.

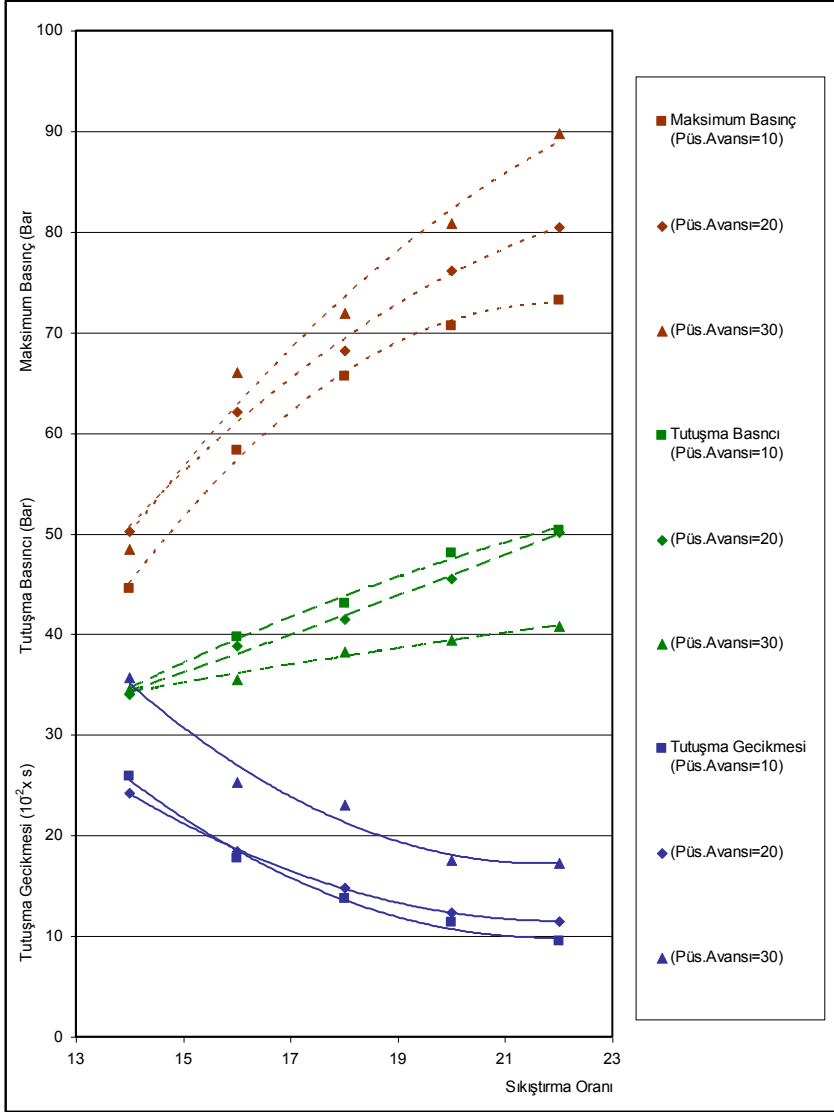


Şekil 8. Tutuşma gecikmesinin motor yüküne göre değişimi

Tutuşma gecikmesi üzerinde etkili olan sıkıştırma oranı, püskürtme avansı, emme havası sıcaklığı parametrelerinin tutuşma gecikmesi üzerindeki etkileri, tutuşma gecikmesinin uzun ve silindir içinde karışım oluşma ve yanma üzerindeki etkisinin yüksek olduğu düşük motor devri (1200 d/d) ve kısmi yük ($\frac{1}{4}$ motor kısmi yükü) çalışma şartlarında incelenmiştir.

Sıkıştırma oranı arttıkça diğer parametreler sabit kalmak şartıyla, yakıt püskürtme anındaki silindir basınç ve sıcaklıkları daha yüksek değerlere ulaşır. Basınç ve sıcaklığın artması gerek fiziksel ve gerekse kimyasal tutuşma gecikmesini etkileyerek tutuşma gecikmesini azalttığından dolayı Şekil 9 ve 10’da görüldüğü gibi sıkıştırma oranının artmasıyla tutuşma gecikmesi azalmaktadır.

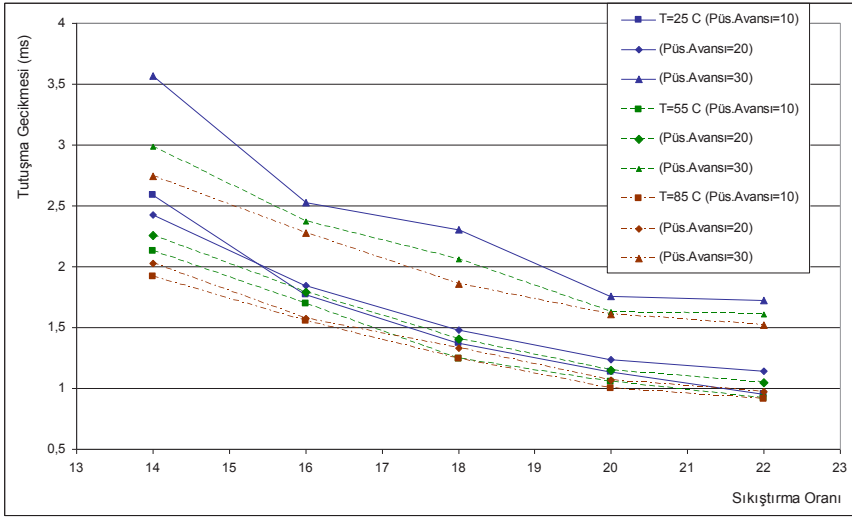
Püskürtme avansının değişimi sindir içerisine püskürtülen yakıt ortamının sıcaklık ve basıncının değişimini sağlar. Püskürtme avansının azaltılması sıcaklık ve basıncı artırdığından dolayı tutuşma gecikmesi Şekil 9 ve 10’da görüldüğü gibi azalmaktadır. Ancak püskürtme avansının daha fazla azalmasıyla tutuşma gecikmesinde yükselme meydana gelmeye başlamaktadır. Tutuşma gecikmesi optimum bir püskürtme avans değerinde minimum olmaktadır.



Şekil 9. Tutuşma gecikmesinin, yakıt tutuşma basıncının ve silindir maksimum basıncının sıkıştırma oranına ve püskürtme avansına göre değişimi.

Artan emme havası sıcaklığı tutuşma gecikmesinde azalmaya sebep olmaktadır. Bunun sebebi yakıtın daha sıcak bir ortama püskürtüldüğünden buharlaşma ve kinetik reaksiyon hızları artmakta ve bunun sonucunda fi-

ziksel ve kimyasal tutuşma gecikmesi kısalarak toplam tutuşma gecikmesi kısalmaktadır. Şekil 9'da tutuşma gecikmesinin, emme havasının 25, 55 ve 85 °C sıcaklıklarındaki değerlerinin sıkıştırma oranına ve püskürtme avansına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla tutuşma gecikmesi azalmaktadır.



Şekil 10. Tutuşma gecikmesinin sıkıştırma oranına, püskürtme avansına ve emme havası sıcaklığına göre değişimi.

TUTUŞMA GECİKMESİNİN YARI AMPİRİK DENKLEMLERİNİN HESAPLANMASI

Tutuşma gecikmesiyle ilgili sabit hacimli yanma odası, daimi akış reaktörü, şok tüpleri, hızlı sıkıştırma makineleri ve motorlarda yapılan deneysel çalışmalara dayanan korelasyonlar önerilmiştir. Bu korelasyonların çoğunda Wolfer tarafından önerilen ve Arrhenius ifadesine benzeyen tek safhalı denklemler kullanılmaktadır. Tutuşma gecikmesinin modifiye edilmiş Arrhenius korelasyon ifadesi reaksiyon kinetiğinden çıkarılabilmektedir. Kimyasal kinetiğe göre yakıt ve hava arasındaki reaksiyon, ürünlere dönüşen yakıt ve hava tarafından temsil edilebilmektedir ve global reaksiyonun reaksiyon hızı

$$RR = K_f [O_2]^j [Y]^m P^n \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Bu denklemde K_f reaksiyon hız sabiti, O_2 ve Y molar konsantrasyonlardır, P basınç ve $n = m + j$ olup reaksiyon mertebesini belirtirler. Reaksiyon hız sabiti sıcaklıkla kuvvetle ilişkilidir ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$K_f = B \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (2)$$

Tutuşma gecikmesi reaksiyon hızıyla ters orantılı olduğundan, tutuşma gecikmesi yukarıdaki denklemlerin bileşiminden

$$\tau \propto \frac{1}{B} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) [O_2]^{-j} [Y]^{-m} P^{-n} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi tutuşma gecikmesi reaksiyonun aktivasyon enerjisine kuvvetle bağlıdır. Aktivasyon enerjisi aşılması gereken bir bariyer olup kimyasal kinetik mekanizma içerisinde ilk ayrışma reaksiyonlarıdır. Ayrıca sıcaklık, basınç, yakıt ve oksijen konsantrasyonu (veya hava fazlalık katsayısı) tutuşma gecikmesi üzerinde etkileri vardır (Chen, 2003). Bu çalışmada, oksijen ve yakıt terimlerinin hava fazlalık katsayısıyla ifade edilmesi ve sıcaklık terimlerinin yalnızca exponansiyel terim içinde ifade edilmesiyle

$$\tau = A \lambda^k P^{-n} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (4)$$

şeklinde yarı ampirik tutuşma gecikmesi ifadesi kullanılacaktır. Bu ifade tutuşma gecikmesinin hem fiziksel hem de kimyasal etkilerini kapsayacaktır. Tutuşma gecikmesi yarı ampirik denklemi sıcaklığa, basınca ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak belirlenecektir.

Emme Sonu Sıcaklığının Belirlenmesi

Tutuşma gecikmesi ampirik denklemlerindeki basınç ve sıcaklık değerleri olarak, deneylerin dizel motorunda yapılmasından dolayı, yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü andaki yanma odası sıcaklığı ve basıncı alınacaktır. Bu nedenle püskürtme anı dolgu sıcaklığı ve basıncının belirlenmesi için emme sonu sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Emme sonu sıcaklığı,

$$T_{A\ddot{O}N} = T_d (1 - \gamma) \frac{P_y}{P_d} \frac{\varepsilon}{(\varepsilon - 1) \eta_v} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada γ art gazların tüm dolguya olan oranı, η_v volumetrik verimi, P_y tüm dolgu (taze ve art gaz karışımı) basıncını ve P_d ise taze dolgu kısmi basıncını ifade etmektedir. Bu çalışmada; $\gamma = 0,04$ $\eta_v = 0,90$ ve $P_y/P_d = 1$ alınarak emme sonu sıcaklığı:

$$T_{A\ddot{O}N} = 1,067 \cdot T_d \frac{\varepsilon}{(\varepsilon - 1)} \quad (6)$$

olarak yalnızca taze dolgu sıcaklığına ve sıkıştırma oranına bağlı olarak belirlenmiştir.

Yakıt Püskürtme Anı Dolgu Sıcaklığı ve Basıncının Belirlenmesi

Yakıt püskürtme anı dolgu sıcaklığı ve basıncının belirlenmesi, sıkıştırma periyodu, politropik hal değişimi kabul edilerek yapılmıştır. Bu nedenle öncelikle yakıt püskürtme anı silindir hacminin ve pistonun alt ölü noktadayken silindir hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre, ϕ püskürtme açısı olmak üzere püskürtme anı sıcaklığı ve basıncı

$$T(\phi) = T_{A\ddot{O}N} \left(\frac{V_{A\ddot{O}N}}{V(\phi)} \right)^{m-1} \quad (7)$$

$$P(\phi) = P_{A\ddot{O}N} \left(\frac{V_{A\ddot{O}N}}{V(\phi)} \right)^m \quad (8)$$

şeklinde belirlenir. Bu ifadelerdeki m politropik üsttür. Ancak silindirdeki karışımın sıkıştırılmasıyla meydana gelen kompresyon kaçaklarının etkisini dikkate almak için politropik üst sıkıştırma oranına ve püskürtme

avansına bağlı olarak azaltmak gerekir. Bu nedenle m politropik üst sabiti, ε sıkıştırma oranı, s sıkıştırma oranı katsayısı, ϕ püskürtme avansı, a püskürtme avansı katsayısı olmak üzere politropik üst $m - s\varepsilon + a\phi$ şeklinde ifade edilmiştir.

Politropik Üst İfadesinin Belirlenmesi

Politropik üstün $m - s\varepsilon + a\phi$ şeklindeki ifadede m, s ve a katsayıları deneysel olarak belirlenmiş püskürtme anındaki silindir basınçların kullanımıyla en küçük kareler yöntemiyle deney motoruna ait olmak üzere belirlenmişlerdir. Bu çalışmadaki korelasyon hesaplamaları [104]'düncü kaynaktaki esaslara göre yapılmıştır.

$$P(\phi) = P_{A\dot{O}N} \left(\frac{V_{A\dot{O}N}}{V(\phi)} \right)^{m-s\varepsilon+a\phi} \quad (9)$$

Bu ifadedeki sabitlerin en küçük kareler yöntemiyle belirlenebilmesi için exponansiyel formda olan denklem lineer forma dönüştürülecektir. İfadesinin logaritması alınırsa

$$\ln(P(\phi)) = (m - s\varepsilon + a\phi) \ln \left(P_{A\dot{O}N} \left(\frac{V_{A\dot{O}N}}{V(\phi)} \right) \right) \quad (10)$$

Bu ifadede $\ln(P(\phi)) = P'(\phi)$ ve $\ln \left(P_{A\dot{O}N} \left(\frac{V_{A\dot{O}N}}{V(\phi)} \right) \right) = V'(\phi)$ olarak alınırsa ifade

$$P'(\phi) = (m - s\varepsilon + a\phi)V'(\phi) \quad (11)$$

şeklinde çok değişkenli lineer bir denklem haline gelir. Ölçülen silindir basıncının logaritmasıyla, $P'(\phi)_g$ ($\ln P(\phi)_g$) bu bağıntıdaki tutuşma gecikmesi, $P'(\phi)$ arasındaki farkın, e kareleri

$$\sum e_i^2 = \sum (P'(\phi)_{g_i} - P'(\phi)_i)^2 = \sum (P'(\phi)_{g_i} - (m - s\varepsilon_i + a\phi_i)V'(\phi)_i)^2 \quad (12)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem sabitlerinin belirlenmesi için bu ifadenin minimum olması istenir. Bu nedenle bu ifadenin denklem sabitlerine göre türevleri alınırsa

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial m} = 0 \Rightarrow 2 \sum (P'(\phi)_{g_i} - (m - s\varepsilon_i + a\phi_i)V'(\phi)_i) (-V'(\phi)_i) = 0$$

$$\sum P'(\phi)_{g_i} V'(\phi)_i = m \sum V'^2(\phi)_i - s \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i + a \sum V'^2(\phi)_i \phi_i \quad (13)$$

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial s} = 0 \Rightarrow 2 \sum (P'(\phi)_{g_i} - (m - s\varepsilon_i + a\phi_i)V'(\phi)_i) (\varepsilon_i V'(\phi)_i) = 0$$

$$\sum P'(\phi)_{g_i} V'(\phi)_i \varepsilon_i = m \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i - s \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i^2 + a \sum V'^2(\phi)_i \phi_i \varepsilon_i \quad (14)$$

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial a} = 0 \Rightarrow 2 \sum (P'(\phi)_{g_i} - (m - s\varepsilon_i + a\phi_i)V'(\phi)_i) (-\phi_i V'(\phi)_i) = 0$$

$$\sum P'(\phi)_{g_i} V'(\phi)_i \phi_i = m \sum V'^2(\phi)_i \phi_i - s \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i \phi_i + a \sum V'^2(\phi)_i \phi_i^2 \quad (15)$$

şeklinde üç bilinmeyenli üç adet lineer denklem elde edilir. Aşağıda matris formunda verilen bu lineer denklem takımının çözülmesiyle katsayılar belirlenir.

$$\begin{bmatrix} \sum P'(\phi)_{g_i} V'(\phi)_i \\ \sum P'(\phi)_{g_i} V'(\phi)_i \varepsilon_i \\ \sum P'(\phi)_{g_i} V'(\phi)_i \phi_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum V'^2(\phi)_i & \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i & \sum V'^2(\phi)_i \phi_i \\ \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i & \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i^2 & \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i \phi_i \\ \sum V'^2(\phi)_i \phi_i & \sum V'^2(\phi)_i \varepsilon_i \phi_i & \sum V'^2(\phi)_i \phi_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ s \\ a \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{matrix} \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ T & = & D & & X \end{matrix}$$

Burada T silindirik basınç vektörü, D veri matrisi ve X katsayılar vektörüdür. Bulunan m, s, a , katsayılarından m politropik üstü için $m - s\varepsilon + a\phi$ ve $m - 1$ için $m - 1 - s\varepsilon + a\phi$ ifadesi kullanılmıştır.

Tek Sayfalı Tutuşma Gecikmesi Ampirik Denkleminin Belirlenmesi

Dizel motorunda farklı yapısal ve işletme şartlarda tutuşma gecikmesi belirlenmiş ve elde edilen deneysel sonuçlardan tek silindirik dört zamanlı hava soğutmalı dizel motorlarında tutuşma gecikmesinin belirlenebilmesi için yarı ampirik bir denklem elde edilmiştir. Bunun için önceki bölümde açıklanan modife edilmiş ve aşağıda verilen Arrhenius denklemi kullanılmıştır.

$$\tau = A\lambda^k P^{-n} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (17)$$

Bu ifadedeki sabitlerin en küçük kareler yöntemiyle belirlenebilmesi için exponansiyel formda olan denklem lineer forma dönüştürülecektir. İfadesinin logaritması alınırsa

$$\ln \tau = \ln A + k \ln \lambda - n \ln P + \frac{E}{RT} \quad (18)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade de

$$\ln \tau = \tau', \ln A = A', \ln \lambda = \lambda', \ln P = P', 1/T = T' \text{ ve } E/\bar{R} = m \text{ olarak alınırsa ifade} \quad (19)$$

$$\tau' = A' + k\lambda' - nP' + mT'$$

şeklinde çok değişkenli lineer bir denklem haline gelir. Ölçülen tutuşma gecikmesinin logaritmasıyla, τ'_g ($\ln \tau_g$) bu bağıntıdaki tutuşma gecikmesi, τ' arasındaki farkın, e kareleri

$$\sum e_i^2 = \sum (\tau'_{gi} - \tau'_i)^2 = \sum (\tau'_{gi} - A' - k\lambda'_i + nP'_i - mT'_i)^2 \quad (20)$$

şeklinde ifade edilir. Denklemin sabitlerinin belirlenmesi için bu ifadenin minimum olması istenir. Bu nedenle bu ifadenin denklem sabitlerine göre türevleri alınırsa

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial A'} = 0 \Rightarrow 2 \sum (\tau'_{gi} - A' - k\lambda'_i + nP'_i - mT'_i)(-1) = 0$$

$$z = \text{Veri sayısı} \quad \sum \tau'_{gi} = zA' + k \sum \lambda'_i - n \sum P'_i + m \sum T'_i \quad (21)$$

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial k} = 0 \Rightarrow 2 \sum (\tau'_{gi} - A' - k\lambda'_i + nP'_i - mT'_i)(-\lambda'_i) = 0$$

$$\sum \tau'_{gi} \lambda'_i = A' \sum \lambda'_i + k \sum (\lambda'_i)^2 - n \sum P'_i \lambda'_i + m \sum T'_i \lambda'_i \quad (22)$$

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial n} = 0 \Rightarrow 2 \sum (\tau'_{gi} - A' - k\lambda'_i + nP'_i - mT'_i)(P'_i) = 0$$

$$\sum \tau'_{gi} P'_i = A' \sum P'_i + k \sum \lambda'_i P'_i - n \sum (P'_i)^2 + m \sum T'_i P'_i \quad (23)$$

$$\frac{\partial \sum e_i^2}{\partial m} = 0 \Rightarrow 2 \sum (\tau'_{gi} - A' - k\lambda'_i + nP'_i - mT'_i)(-T'_i) = 0$$

$$\sum \tau'_{gi} T'_i = A' \sum T'_i + k \sum \lambda'_i T'_i - n \sum P'_i T'_i + m \sum (T'_i)^2 \quad (24)$$

şeklinde dört bilinmeyenli dört adet lineer denklem elde edilir. Aşağıda matris formunda verilen bu lineer denklem takımının çözülmesiyle katsayılar belirlenir.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \sum \tau'_{gi} \\ \sum \tau'_{gi} \lambda'_i \\ \sum \tau'_{gi} P'_i \\ \sum \tau'_{gi} T'_i \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} z & \sum \lambda'_i & -\sum P'_i & \sum T'_i \\ \sum \lambda'_i & \sum (\lambda'_i)^2 & -\sum P'_i \lambda'_i & \sum T'_i \lambda'_i \\ \sum P'_i & \sum \lambda'_i P'_i & -\sum (P'_i)^2 & \sum T'_i P'_i \\ \sum T'_i & \sum \lambda'_i T'_i & -\sum P'_i T'_i & \sum (T'_i)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A' \\ k \\ n \\ m \end{bmatrix} & \quad (25) \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 T & = & D & & X
 \end{aligned}$$

Burada T tutuşma gecikmesi vektörü, D veri matrisi ve X katsayılar vektörüdür. Bulunan A', k, n, m katsayılarından modife edilmiş Arrhenius denklemindeki sabitler belirlenmiştir.

Ampirik Denklemlerin Deneysel Sonuçlarla Uyumu

En küçük kareler yöntemiyle elde edilen ampirik denklemlerin deneysel bulgularla ne kadar iyi uyum sağladığı ortalama sapma ve korelasyon katsayısı ile incelenmiştir.

Yüzde olarak sapma için:

$$\sigma_i = \frac{y_{gi} - y_i}{y_{oi}} \cdot 100 \quad (26)$$

ifadesi, yüzde olarak ortalama sapma için:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z |\sigma_i| \quad (27)$$

ifadesi ve korelasyon katsayısı içinde:

$$R = \left(1 - \frac{(z-1) \sum_{i=1}^z (y_{gi} - y_i)^2}{(z-F) \sum_{i=1}^z (y_{gi} - \bar{y}_i)^2} \right)^{1/2} \quad (28)$$

ifadesi kullanılmıştır. Bu ifadelerde;



z = deney sayısı,

y = belirlenmek istenilen bağımlı değişken,

y_{gi} = y değişkeninin gerçek (deneysel) değeri,

y_i = y değişkeninin ampirik denklemden elde edilmiş değeri,

$\bar{y}_i = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^z y_{gi}$ olmak üzere y değişkeninin gerçek değerlerinin ortalaması,

$F = y$ bağımlı değişkeninin bağımlı olduğu bağımsız değişken sayısıdır (bu çalışmada politropik üstün belirlenmesinde 2, tutuşma gecikmesinin belirlenmesinde 3' tür).

Bu bölümdeki hesaplamalar, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve verilerin grafikler şeklinde sunulması EXCEL programıyla yapılmıştır. Elde edilen Lineer denklem sistemlerinin çözümü ise MATLAB'da hazırlanan programla gerçekleştirilmiştir.

Tutuşma Gecikmesi Hata Analizi

Tutuşma gecikmesi Denklem 17'ye göre $\tau = \tau(\lambda, P, T)$ olmak üzere belirlilik analizi yöntemine göre tutuşma gecikmesi hata oranı:

$$w_{\tau} = \left[\left(\frac{1}{z} \sum_{i=1}^z \left(\frac{\partial \tau}{\partial \lambda} \right)_i w_{\lambda i} \right)^2 + \left(\frac{1}{z} \sum_{i=1}^z \left(\frac{\partial \tau}{\partial P} \right)_i w_{pi} \right)^2 + \left(\frac{1}{z} \sum_{i=1}^z \left(\frac{\partial \tau}{\partial T} \right)_i w_{Ti} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (29)$$

olarak belirlenmiştir. Bu denklemde;

w_{λ} = Hava fazlalık katsayısı ölçüm hata oranı,

w_p = Basınç belirleme hata oranı,

w_T = Sıcaklık belirleme hata oranıdır.

Ve yine denklem 17'ye göre;

$$\frac{\partial \tau}{\partial \lambda} = kA\lambda^{k-1}P^{-n} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (30)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial P} = -nA\lambda^k P^{-n-1} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (31)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial T} = -\frac{E}{RT^2} \ln(A\lambda^k P^{-n}) A\lambda^k P^{-n} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (32)$$

olarak belirlenmektedir.

YARI AMPİRİK DENKLEMLERİNİN HESAPLAMA SONUÇLARI

Tutuşma gecikmesinin belirlenmesinde ,

$$\tau = A\lambda^k P^{-n} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (29)$$

kullanılan yarı ampirik denklemdeki, yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü andaki silindir basınç değeri deneysel sonuçların en küçük kareler yönteminin kullanılmasıyla elde edilen politropik üst ifadesinin kullanımıyla

$$P(\phi) = P_{AÖN} \left(\frac{V_{AÖN}}{V(\phi)} \right)^{1,265-0,003\varepsilon+0,011\phi} \quad (30)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Bu bağıntıyla bulunan ve deneylerden elde edilen basınç değerlerinin serpilme diyagramı, yüzde ortalama sapma değeri $\bar{\sigma}$ ve korelasyon katsayısı (R) Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi basıncın hesap ve ölçüm değerleri yeterli uyum içerisindedir. Yüzde ortalama sapma 1,94 ve korelasyon katsayısı 0,9966 bulunmuştur.

Belirlenen bu politropik üst sabitinden yakıtın püskürtüldüğü sıcaklık değerleri

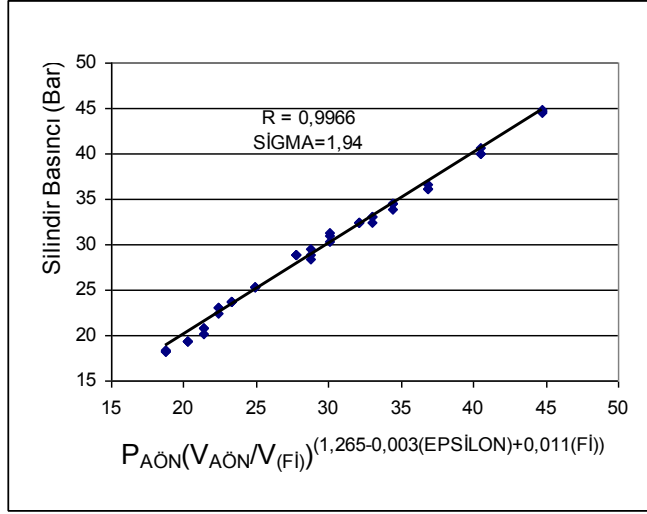
$$T(\phi) = T_{AÖN} \left(\frac{V_{AÖN}}{V(\phi)} \right)^{0,265-0,003\varepsilon+0,011\phi} \quad (31)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Denklem 29'da verilen tutuşma gecikmesi ifadesindeki sabitlerin en küçük kareler yönteminin kullanımıyla elde edilen tutuşma gecikmesi ifadesi

$$\tau = 32.\lambda^{0,1}.P^{-1,6}.\exp\left(\frac{2100}{T}\right) \quad (32)$$

şeklindedir.



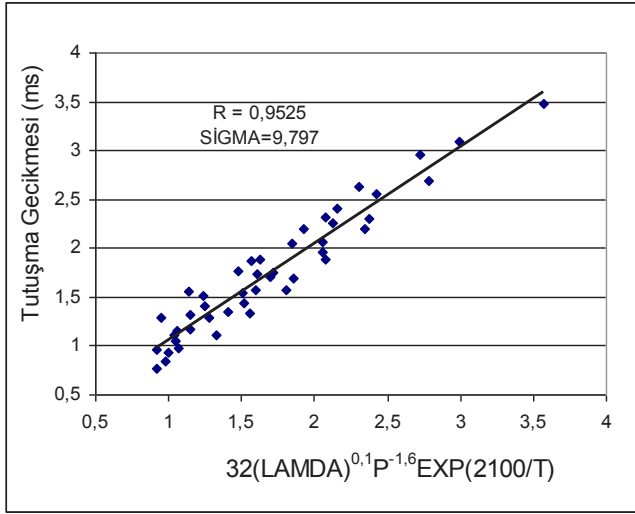
Şekil 11. Ampirik denklemle belirlenen ve deneylerden elde edilen basınç değerlerinin serpilme diyagramı, ortalama sapma değeri ve korelasyon katsayısı.

Denklem 32'deki basınç ve sıcaklık ifadelerinde Denklem 30 ve 31'in kullanılmasıyla,

$$\tau = 32 \cdot \mathcal{A}^{0,1} \cdot P_{AÖN}^{-1,6} \left(\frac{V_{AÖN}}{V(\phi)} \right)^{-2,024+0,0048\varepsilon-0,0176\phi} \cdot \exp \left(2100 \cdot T_{AÖN}^{-1} \left(\frac{V_{AÖN}}{V(\phi)} \right)^{-0,265+0,003\varepsilon-0,011\phi} \right) \quad (33)$$

ifadesi elde edilir. Bu bağıntıda $V(\phi)$, $V_{AÖN}$ ve $T_{AÖN}$ deney motor özelliklerine göre hesaplanmaktadır. Bu çalışmada $P_{AÖN} = 1$ Bar kabul edilmiştir. Diğer değişkenler motorun yapısal ve işletme şartlarına göre belirlenmektedir. Denklemdeki sabitler deney motoruna ait karakteristik sabitlerdir.

Bu bağıntıyla bulunan ve deneylerden elde edilen tutuşma gecikmesi değerlerinin serpilme diyagramı, ortalama sapma değeri ve korelasyon katsayısı Şekil 12'de gösterilmiştir. Ortalama sapma değeri 9,797 ve korelasyon katsayısı 0,9525 dir. Yarı ampirik denklemin ortalama sapma değeri ve korelasyon katsayısı, üç ayrı parametrenin geniş sınırlar içerisindeki etkilerini kapsadığı için tek parametrenin daha dar sınırlardaki etkisini içeren denklemlerin ortalama sapma değerinden ve korelasyon katsayılarından daha düşük bulunmuştur.



Şekil 12. Ampirik denklemle belirlenen ve deneylerden elde edilen tutuşma gecikmesi değerlerinin serpilme diyagramı, ortalama sapma değeri ve korelasyon katsayısı

Tutuşma gecikmesi hata oranı Denklem 29'a göre belirlenmiştir. Hava fazlalık katsayısı ölçüm hata oranı, deneysel çalışmada kullanılan ölçüm sistemleri için önerilen, %1 değeri alınmıştır. Basınç belirleme hata oranı olarak, tutuşma gecikmesi yarı ampirik denklemde kullanılan ve ampirik olarak belirlenen yakıt püskürtme basıncının deneysel olarak elde edilen değerlerden yüzde ortalama sapmasını veren %1,94 değeri kullanılmıştır. Yakıt püskürtme basıncının deneysel olarak elde edilen değerlerindeki ölçüm sistemi hata oranı bu değere dahil kabul edilmiştir. Sıcaklık belirleme hata oranı, basınç belirleme hata oranından, basınç ve sıcaklığın politropik ilişkisinden yararlanılarak %0,82 değeri alınmıştır. Buna göre Denklem 29'den tutuşma gecikmesi hata oranı

$$w_{\tau} = \left[(0,0018)^2 + (-0,0543)^2 + (0,0609)^2 \right]^{1/2} = 0,0816 \quad (34)$$

olarak belirlenmiştir. Tutuşma gecikmesi ortalama değeri 1,75 ms alınarak tutuşma gecikmesi hata oranı %4,67 bulunur. Tutuşma gecikmesi hata oranında hava fazlalık katsayısı ölçüm hata oranı %0,1 ile ihmal edilebilecek kadar küçük bulunmuştur. Basınç belirleme hata oranı %3,1 ile oldukça etkilidir. Sıcaklık belirleme hata oranıdır %3,48 ile tutuşma gecikmesi hata oranında en etkili parametredir.

SONUÇ

Dizel motorlarında yanma olayı püskürtme ile başlayıp, pek çok sayıda parametrenin topluca etkisi altında cereyan eden ve gerçekte egzoz içinde bile kısmen devam eden karmaşık bir olaydır. Yanma olayı üç ayrı safha halinde incelenmektedir. Bunlar tutuşma gecikmesi, ani yanma ve kumandalı (kontrollü) yanma safhalarıdır. Tutuşma gecikmesi süreci; yanmayı, dizel vuruntusunu ve buna bağlı olarak motorun performansını ve gürültüsünü, bununla birlikte is teşekkülü gibi yanmanın daha sonraki safhalarını da etkilemektedir.

Bu çalışmada; sürekli yakıt ilavesi olan homojen olmayan yakıt / hava sistemlerinin bir örneği olan, dizel motorunun değişik işletme şartlarının (püskürtme avansı, emme havası sıcaklığı vb.) ve yapısal (sıkıştırma oranı) büyüklüklerinin tutuşma gecikmesi üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenmiş, tutuşma gecikmesi bu deneysel çalışma sonuçlarına dayanan yarı ampirik tek safhalı denklemle ifade edilmiş ve özetle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tutuşma gecikmesini etkileyen önemli faktörlerin (sıkıştırma oranı, püskürtme avansı, emme havası sıcaklığı, hava fazlalık katsayısı) tutuşma gecikmesi üzerindeki etkileri deneysel olarak belirlenerek tutuşma gecikmesinin kontrollü değiştirilmesi sağlanılmıştır. Tutuşma gecikmesi sıkıştırma oranı ve emme havası sıcaklığının artmasıyla azalmakta, püskürtme avansı ve hava fazlalık katsayısının artmasıyla ise artmaktadır.
- Deney sonuçlarından yararlanılarak tutuşma gecikmesini etkileyen ana faktörlerin etkileri tek safhalı yarı ampirik denklemle ifade edilmiştir. Ampirik denklem deney motorunun karakteristik özelliklerine göre;

$$\tau = 32 \cdot \lambda^{0,1} \cdot P_{AON}^{-1,6} \left(\frac{V_{AON}}{V(\phi)} \right)^{-2,024+0,0048\varepsilon-0,0176\phi} \cdot \exp \left(2100 \cdot T_{AON}^{-1} \left(\frac{V_{AON}}{V(\phi)} \right)^{-0,265+0,003\varepsilon-0,011\phi} \right)$$

şeklinde belirlenmiştir.

- Tutuşma gecikmesi bağıntıyla bulunan ve deneylerden elde edilen tutuşma gecikmesi değerlerinin korelasyon katsayısı 0,9525 dir.

- Yarı ampirik denklemin belirlilik katsayısı, üç ayrı parametrenin geniş sınırlar içerisindeki etkilerini kapsamından dolayı belirlilik katsayısı düşük bulunmuştur. Tutuşma gecikmesi tek parametrenin sınırlı değiştirilmesiyle daha iyi tahmin edilerek silindir basınç seviyesine etkisi incelenmelidir.
- Fiziksel değişimlerin tutuşma gecikmesi üzerindeki etkisi iki safhalı yarı ampirik denklemle dikkate alınarak tutuşma gecikmesi daha hassas olarak belirlenmeye çalışılmalıdır.



Kaynaklar

- Abu-Elyazeed O.S.M. (2015). "On the ignition delay of two types of Castor oil bio-diesel using shock tube experiments". *Fuel*, 144, 157–163.
- Aldhaidhawi M. & Miron, L. & Chiriac R. Badescu V. (2018). "Autoignition process in compression ignition engine fueled by diesel fuel and biodiesel with 20% rapeseed biofuel in diesel fuel". *J. of Energ. Eng.*
- Allen C.M. & Toulson E. & Hung L.S.D. & Schock H. & Miller D. & Lee T. (2011). "Ignition characteristics of diesel and canola biodiesel sprays in the low-temperature combustion regime". *Energy Fuels*, 25 (7), 2896–2908.
- Barituad, T.A. & Heinze, T.A. & Le Coz, J.F. (1994). "Spray and self-Ignition Visualization in a DI Diesel Engine". SAE Technical Paper No: 940681.
- Beerer D. & McDonell V. & Samuelsen S. & Angello L. (2009). "Interpretation of flow reactor based ignition delay measurements". *Proc. ASME Turbo Expo 2*, 1011–1026.
- Bolt, J.A. & Henein, N.A. (1970). "The effect of Some Engine Variables on Ignition Delay and Other Combustion Phenomena in a Diesel Engine". The Institution of Mechanical Engineers.
- Borat, O. (1953). "Diesel Motorlarında Tutuşma Evresine Kadarki Süreçlerin Teorisi". Doktora tezi, Ren-Vestfalya Teknik Yüksek Okulu Aachen.
- Borat, O. (1953). "Diesel Motorlarında Tutuşma Gecikmesi Hakkında Yeni Araştırmalar". Doçentlik tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Borat, O. & Balcı, M. & Sürmen, A. (1992). "Yanma Bilgisi". Gazi Üni. Teknik Eğitim Fak. Yayınları, Ankara.
- Borat, O. & Balcı, M. & Sürmen, A. (1995). "İçten Yanmalı Motorlar", Gazi, Üni. Teknik Eğitim Fak. Yayınları, Ankara.
- Borman, G.L. & Ragland, K.W. (1998). "Combustion Engineering". Mc Graw Hill Book Company, San Francisco USA.
- Brett, L. & Macnamara, J. & Musch, P. & Simmie, J.M. (2001). "Simulation of Methane Autoignition in a Rapid Compression Machine with Creviced Pistons". *Combustion and Flame*, 124.
- Burcat, A. & Radhakrishnan, K. (1985) "High Temperature Oxidation of Propane". *Combustion and Flame*, 60.
- Cavaliere, A. & Ciajolo, A. & D'anna, A. & Mercogliano, R. (1993). "Autoignition of n-Heptane and n-Tetradecane in Engine-Like Conditions". *Combustion and Flame*, 93.
- Chen, C. (2003). "Correlation of Ignition Delay with Fuel Composition and State For Application to Gas Turbine Combustion", MSc Thesis, Clemson University Research Foundation South Carolina Institute for Energy Sciences, University of California.

- Chigier, N. (1991). "Combustion Measurements". Hemisphere Publishing Corporation, Washington, USA.
- Ciezki, H.K. & Adomeit, G. (1993). "Shock-Tube Investigation of Self-ignition of n-Heptane-Air Mixtures Under Engine Relevant Conditions". *Combustion and Flame*, 93.
- Davis S.G. & Law, C.K. & Wang, H. (1999). "Propane Pyrolysis and Oxidation Kinetics in a Flow Reactor and Laminar Flames". *Combustion and Flame*, 119.
- Dimitriu, D.G. & Goettler, H.J. & Ziejewski, M. (1990). "Apparatus for the Measurement of Ignition Delay Times for Diesel Engine Fuels". SAE Paper No: 901617.
- El-Kasaby M. & Nemit-Allah M.A. (2013). "Experimental investigations of ignition delay period and performance of a diesel engine operated with Jatropha oil biodiesel". *Alex. Eng. J.* 52 (2), 141–149
- Erbakan N. (1953) "Diesel Motorlarında Tutuşma Evresine Kadarki Süreçlerin Teorisi" Doktora tezi, Ren-Vestfalya Teknik Yüksek Okulu, Aachen.
- Erbakan N. (1953) "Diesel Motorlarında Tutuşma gecikmesi Hakkında Yeni Araştırmalar" Doçentlik tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Fieweger, K. & Blumenthal, R. & Adomeit, G. (1997). "Self-Ignition of S.I. Engine Model Fuels: A Shock Tube Investigation at High Pressure". *Combustion and Flame*, 109.
- Gardiner, W.C. (1984). "Combustion Chemistry". Springer-Verlog, Berlin.
- Gutheil, E. (1993). "Numerical Investigation of the Ignition of Dilute Fuel Sprays Including Detailed Chemistry". *Combustion and Flame*, 93.
- Hamosfakidis, V. & Reitz, R.D. (2003). "Optimization of a Hydrocarbon Fuel Ignition Model for Two Single Component Surrogates of Diesel Fuel". *Combustion and Flame*, 132.
- Hoang V.N. & Thi L.D. (2015)." Experimental study of the ignition delay of diesel/biodiesel blends using a shock tube". *Biosyst. Eng.* 134, 1–7.
- Hoskin, D.H. & Edwards, C.F. & Siebers, D.L. (1992). "Ignition Delay Performance versus Composition of Model Fuels". SAE Paper No: 920109.
- Jaat N. & Khalid, A. & Andsaler A.R. & Sapit A. & Razali A. & Basharie M. (2017). "Effects of ambient temperature and injection pressure on biodiesel ignition delay". *J. Mech. Eng. Sci.*, 11 (2), 2723–2733.
- Jamrozik A. (2017). "The effect of the alcohol content in the fuel mixture on the performance and emissions of a direct injection diesel engine fueled with diesel-methanol and diesel-ethanol blends". *Energy Convers. Manage.* 148, 461–476.
- Kang, S.H. & Baek, S.W. & Choi, J.H. (2001). "Autoignition of Sprays in a Cylindrical Combustor". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44.
- Keunsoo K. & Wooyoung L. & Paxton W. & Eric M. & Jacob T. & Chol-Bum M. & Tonghun L. (2023). "Effects of the cetane number on chemical ignition delay". *Energy*, 264, 126263.



- Lapuerta M. & Hernandez J.J. & Fernandez-Rodriguez D. & Cova-Bonillo A. (2017). "Autoignition of blends of n-butanol and ethanol with diesel or biodiesel fuels in a constant-volume combustion chamber". *Energy*, 118, 613–621.
- Leppard, W.R. (1991). "The Autoignition Chemistries of Octane-Enhancing Ethers and Cyclic Ethers: A Motored Engine Study". SAE Technical Paper No:912313.
- Lucian M. & Radu C. & Marek B. & Viorel B. (2021). "Ignition delay and its influence on the performance of a Diesel engine operating with different Diesel–biodiesel fuels". *Energy Reports*, 7, Pages 5483-5494.
- Minetti, R. & Carlier, M. & Rbaucour, E. & Therssen, E. & Sochet, L.R. (1995). "A Rapid Compression Machine Investigation of Oxidation and Auto-Ignition of n-Heptane: Measurement and Modeling". *Combustion and Flame*. 102.
- Müller, U.C. & Peters, N. (1992). "Global Kinetics for n-Heptane Ignition at High Pressures", 24. Symposium (international) on Combustion, Sydney, Australia.
- Pinchon, P. (1989). "Three Dimensional Modeling of Combustion in a Prechamber Diesel Engine". SAE Technical Paper No: 890666.
- Qin, Z.; Yang, H. & William, C. & Gardiner, J.R. (2001). "Measurement and Modeling of Shock-Tube Ignition Delay for Propane". *Combustion and Flame*, 124.
- Rente, T. & Golovitchev, V.I. & Denbratt, I. (2001). "Effect of Injection Parameters on Auto-Ignition and Soot Formation in Diesel Sprays". SAE Technical Paper No: 2001-01-3687.
- Sahetchian, K.A. & Blin, N. & Rigny, A. & Seydi, A. (1990). "The Oxidation of n- Butane and n-Heptane in a CFR Engine. Isomerization Reactions and Delay of Autoignition". *Combustion and Flame*, 79.
- Sahin, S.S. & Feng, G. & Heikal, M.R. & Goldfarb, I & Gol'dshtem, V. & Kuzmenko, G. (2001). "Thermal Ignition Analysis of a Monodisperse Sprays with Radiation". *Combustion And Flame*, 125.
- Shrestha K.P. & Eckart S. & Drost S. & Fritsche C. & Schießl R. & Seidel L. & Maas U. & Krause H. & Mauss F. (2022). "A comprehensive kinetic modeling of oxymethylene ethers (OMEn, n=1–3) oxidation - laminar flame speed and ignition delay time measurements". *Combustion and Flame*, 246, 112426.
- Soyhan, H.S. (2000). "Chemical Kinetic Modeling of Autoignition Under Conditions Relevant to Knock in Spark Ignition Engines". Ph.D. Thesis, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taylor, C.F. (1985). "Detonation and Preignition, The Internal Combustion Engine in Theory and Practice". The M.I.T. Press, London, England.
- Varatharajan, B. & Williams, F.A. (2001). "Chemical-Kinetic Description of High-Temperature Ignition and Detonation of Acetylene- Oxygen-Diluent Systems". *Combustion and Flame*, 125.

- Warnatz, J. & Maas, U. & Dibble, R.W., (2001). “Combustion”. Springer, Berlin.
- Wilk, R.D. & Cernansky, N.P. (1989). “Propene Oxidation at Low and Intermediate Temperatures: A Detailed Chemical Kinetic Study”. *Combustion and Flame*, 77.
- Yetkin, A. (1975). “Homojen Olmayan Ortamlarda Tutuşmaya Hazırlık Döneminde Reaksiyon Ürünlerinin Konsantrasyonlarının Kinetik Açısından İncelenmesi”. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından çıkar çatışmasının olmadığı rapor edilmiştir.

Fonlama

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BSE-075/131102 proje numarası ile desteklenmiştir.

Not

Bu çalışma “Dizel Motorlarında Tutuşma Gecikmesinin Silindir Basınç Seviyesine Etkisi” isimli doktora tezinden üretilmiştir.



Gecikmeli Diferansiyel Denklemlerin İteratif Çözümleri Üzerine

On The Iterative Solutions of Delay Differential Equations

Yunus ATALAN¹

1) Aksaray Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Aksaray/TÜRKİYE

ORCID: 0000-0002-5912-7087, yunusatalan@aksaray.edu.tr

Geliş Tarihi: 17/01/2024 - **Kabul Tarihi:** 29/03/2024

DOI:10.55205/joctensa.21202379

ATIF: Atalan, Yunus. (2024). Gecikmeli diferansiyel denklemlerin iteratif çözümleri üzerine. Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2 (1), 44-55.

Öz

Diferansiyel veya integral denklem şeklinde modellenen bazı problemler için önem arz eden nicel ve nitel ayrıntılar sabit nokta iterasyon yöntemleri aracılığıyla daha belirgin hale getirilebilir. Çözümü incelenen bir denklemi belirli şartlar altında bir operatör sınıfına dahil etmek ve bu operatör yardımıyla söz konusu denklemin çözümüne ulaşmak için iterasyon yöntemleri etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada yeni dört adımlı bir iterasyon yönteminin yakınsaklığı ispatlanmış ve gecikmeli diferansiyel denklemler belirli şartları sağlamak kaydıyla daraltan dönüşüm sınıfına dahil edilebildiğinden bu denklemler yardımıyla yeniden inşa edilen dört adımlı iterasyon yönteminden elde edilen dizinin bu denklemlerin çözümüne yakınsadığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İterasyon yöntemi, Daraltan dönüşüm, Yakınsaklık

Abstract

Quantitative and qualitative details that are important for some problems modeled as differential or integral equations can be made more explicit through fixed point iteration methods. Iteration methods are used as an effective tool to include an equation whose solution is under investigation into a class of operators under certain conditions and to obtain the solution of the equation with the help of this operator. In this study, the convergence of a new four-step iteration method is proved and it is shown that since delay differential equations can be included in the class of contraction mappings under certain conditions, the sequence obtained from the reconstructed four-step iteration method with the help of these equations converges to the solution of these equations.

Keywords: Iteration method, Contraction mapping, Convergence.

GİRİŞ

Sabit nokta teorisi, günlük yaşamda çeşitli şekillerde ortaya çıkan problemlerin incelenmesi için bir yöntem sunmakla birlikte, uygun değişiklikler yoluyla bu problemlere çözüm bulmayı amaçlamaktadır.

Sabit nokta teorisinin kökenleri, diferansiyel denklemler üzerine çalışmalarlarıyla tanınan matematikçiler Picard ve Poincaré'ye kadar uzanmaktadır. Ancak Polonyalı matematikçi Banach, sabit nokta kavramının uygun çerçevede geniş bir uygulamaya sahip olmasını sağlamaya önemli bir katkıda bulunmuştur. Banach Daralma ilkesi olarak bilinen teorem, tam metrik uzayda bir daraltan dönüşüm kullanılarak oluşturulan Picard yineleme dizisinin, bu dönüşümün bir tek olan sabit noktasına yakınsadığını belirtmektedir (Banach, 1922). Banach Daralma İlkesi hem uygulamalı matematik hem de diğer çalışma alanları üzerinde etkili olmuş ve birçok araştırmacının bu teoremi diğer yapılara genişletmesine olanak tanıyan hızlı gelişmelerin önünü açmıştır. (Hardy ve Rogers, 1973; Kannan, 1968; Nadler, 1969; Zamfirescu, 1972).

Sabit nokta iterasyon süreçleri dinamik bir literatüre sahip olmakla birlikte modellenen problemlerin çözümüne aşamalı bir şekilde ulaşmaya olanak sağlar. Bu bağlamda birçok sabit nokta iterasyonu tanımlanmış ve bu yöntemlerin yakınsaklık, kararlılık, veri bağıllığı ve yakınsama hızları incelenmiştir (Atalan ve Karakaya, 2019; Karakaya vd., 2016; Maldar vd; 2020).

Bir problem modellenirken adi diferansiyel denklemlerin kullanılması durumunda sistemdeki gecikmeler göz ardı edilir. Ancak küçük gecikmeler sistem davranışında büyük değişikliklere yol açabileceğinden, karşılaşılan problemleri modellerken gecikmeli diferansiyel denklemleri kullanmak daha pratik bir yaklaşım olacaktır. Bu nedenle bu denklemler temel ve uygulamalı bilimlerde karşılaşılan problemlerin modellenmesinde sıklıkla kullanılır. Dolayısıyla modellenen problemin çözümü, sözü edilen gecikmeli diferansiyel denklemin çözümüne karşılık gelecektir. Sabit nokta iterasyon yöntemleri bu tür denklemleri çözmek için etkin bir araç olarak kullanılır. Bu yaklaşımın temel hedefi, belirli koşullar altında bir operatör sınıfına dahil edilen gecikmeli diferansiyel denklemleri kullanarak bir iterasyon yöntemi inşa etmek ve bu yöntemden elde edilen dizinin, operatörün

sabit noktasına -gecikmeli diferansiyel denklemin çözümüne-yakınsamasını sağlamaktır.

Bu çalışmada dört adımlı sabit nokta iterasyon yöntemi kullanılarak bu yöntemden elde edilen dizinin Banach uzaylarında yakınsaklığı incelenmiş ve gecikmeli diferansiyel denklemlerin çözümüne sözü edilen iterasyon yöntemi kullanılarak ulaşılabileceği gösterilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

$C[a, b]$ ile $[a, b]$ aralığı üzerinde tanımlı, reel veya kompleks değerli tüm sürekli fonksiyonların kümesi gösterilsin. Bu küme üzerinde $\|x\|_\infty = \max_{t \in [a, b]} |x(t)|$ normu tanımlanırsa $(C[a, b], \|\cdot\|_\infty)$ bir normlu uzay olur.

$x'(t) = f(t, x(t), x(t - \tau)), t \in [t_0, b]$ ve başlangıç koşulu $x(t) = \phi(t), t \in [t_0 - \tau, t_0]$ olan gecikmeli diferansiyel denklem için aşağıda verilen koşullar sağlansın:

(1) $t_0, b \in \mathbb{R}, \tau > 0,$

(2) $f \in (C[t_0, b] \times \mathbb{R}^2, \mathbb{R}),$

(3) $\phi \in C([t_0 - \tau, b], \mathbb{R})$

(4) Her $u_i, v_i \in \mathbb{R}, i = 1, 2$ ve $t \in [t_0, b]$ için

$|f(t, u_1, u_2) - f(t, v_1, v_2)| \leq L_d \sum_{i=1}^2 |u_i - v_i|$ olacak şekilde $L_d > 0$ mevcuttur,

(5) $0 < 2L_d(b - t_0) < 1.$

Bu problem integral formda aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$x(t) = \begin{cases} \phi(t), & t \in [t_0 - \tau, t_0] \\ \phi(t_0) + \int_{t_0}^t f(s, x(s), x(s - \tau)) ds, & t \in [t_0, b] \end{cases} \quad (1)$$

Teorem 1. (1)- (5) koşulları altında verilen problem $x_* \in C([t_0 - \tau, b], \mathbb{R}) \cap C^1([t_0, b], \mathbb{R})$ gibi bir tek çözüme sahiptir ve herhangi bir $x \in C([t_0 - \tau, b], \mathbb{R})$ için $x_* = \lim_{n \rightarrow \infty} T^n(x)$ (Coman vd; 1976)

Bu teorem ile yukarıda verilen gecikmeli diferansiyel denklemin (1) – (5) şartları altında bir tek çözüme sahip olduğu ve Picard iterasyon yönteminden elde edilen dizinin bu çözüme yakınsak olduğu sonucuna ulaşılır. Doğayısıyla aşağıdaki soru doğal olarak ortaya çıkmaktadır:

Bu denklemin çözümüne daha hızlı yakınsayacak başka bir iterasyon algoritması seçmek mümkün müdür?

Atalan ve Gündoğdu tarafından 2023 yılında tanımlanan aşağıdaki yöntemle bu soruyu cevaplamak mümkün olmaktadır (Gündoğdu, 2023):

X bir Banach uzayı, $T: X \rightarrow X$ bir dönüşüm ve $\{\alpha_n\}, \{\beta_n\}, \{\gamma_n\}, \{\mu_n\} \in [0,1]$ ($n \in \mathbb{N}$) olmak üzere,

$$\begin{cases} x_{n+1} = (1 - \alpha_n)Ty_n + \alpha_nTz_n \\ y_n = (1 - \beta_n)Tx_n + \beta_nTz_n \\ z_n = (1 - \gamma_n)w_n + \gamma_nTw_n \\ w_n = (1 - \mu_n)x_n + \mu_nTx_n \end{cases} \quad (2)$$

Tanım 1. X bir metrik uzay ve $T: X \rightarrow X$ bir dönüşüm olsun. Eğer her $x, y \in X$ için

$$d(Tx, Ty) \leq \delta \cdot d(x, y)$$

olacak şekilde bir $\delta > 0$ sayısı mevcut ise T 'ye bir Lipschitzian dönüşüm denir (Berinde, 2007).

Tanım 2. X bir metrik uzay ve $T: X \rightarrow X$ bir Lipschitzian dönüşüm olsun. Eğer her $x, y \in X$ için,

$$d(Tx, Ty) \leq \delta \cdot d(x, y)$$

eşitsizliği en az bir $\delta \in [0,1)$ sayısı için sağlanıyorsa T 'ye daraltan dönüşüm denir (Berinde, 2007).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde (2) ile verilen iterasyon yönteminin daraltan dönüşümler için kuvvetli yakınsaklığı ispatlanmış ve bu yöntem ile bazı iterasyon yöntemlerinin yakınsama davranışları nümerik bir örnek üzerinden karşılaştırılmıştır. Ayrıca (2) ile verilen yöntem kullanılarak (1) denkleminin çözümüne uygun koşullar altında ulaşılabileceği gösterilmiştir.

Teorem 2. X bir Banach uzayı ve C, X 'in boştan farklı, kapalı ve konveks bir alt kümesi olmak üzere $T: C \rightarrow C$ gibi bir sabit noktaya sahip daraltan dönüşüm olsun. Bu takdirde (2) ile verilen iterasyon yönteminden elde edilen $\{x_n\}_{n=0}^{\infty}$ dizisi x_* sabit noktasına yakınsar.



İspat.

$$\begin{aligned}\|w_n - x_*\| &= \|(1 - \mu_n)x_n + \mu_n T x_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\| + \mu_n \|T x_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\| + \mu_n \delta \|x_n - x_*\| \\ &= [1 - \mu_n(1 - \delta)]\|x_n - x_*\|\end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}\|z_n - x_*\| &= \|(1 - \gamma_n)w_n + \gamma_n T w_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\| + \gamma_n \|T w_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\| + \gamma_n \delta \|w_n - x_*\| \\ &= [1 - \gamma_n(1 - \delta)]\|w_n - x_*\|\end{aligned}$$

elde edilir. Yukarıda elde edilen iki eşitsizlik iç içe yazılır ve $[1 - \mu_n(1 - \delta)] \leq 1$, $[1 - \gamma_n(1 - \delta)] \leq 1$ olduğu göz önüne alınarak gerekli sadeleştirmeler yapılırsa

$$\|z_n - x_*\| \leq \|x_n - x_*\| \text{ elde edilir. Benzer şekilde}$$

$$\begin{aligned}\|y_n - x_*\| &= \|(1 - \beta_n)T x_n + \beta_n T z_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \beta_n)\|T x_n - T x_*\| + \beta_n \|T z_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \beta_n)\delta \|x_n - x_*\| + \beta_n \delta \|z_n - x_*\|\end{aligned}$$

olup $\delta \in [0,1)$ ve $\|z_n - x_*\| \leq \|x_n - x_*\|$ olduğu göz önüne alınırsa

$$\|y_n - x_*\| \leq \|x_n - x_*\|$$

yazılabilir. Ayrıca

$$\begin{aligned}\|x_{n+1} - x_*\| &= \|(1 - \alpha_n)T y_n + \alpha_n T z_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \alpha_n)\|T y_n - T x_*\| + \alpha_n \|T z_n - T x_*\| \\ &\leq (1 - \alpha_n)\delta \|y_n - x_*\| + \alpha_n \delta \|z_n - x_*\| \\ &\leq \delta \|x_n - x_*\|\end{aligned}$$

olur. $\delta \in [0,1)$ olduğundan $n \rightarrow \infty$ için limit alınırsa $x_n \rightarrow x_*$ olduğu görülür.

Örnek 1. $X = \mathbb{R}$ ve $C = [0.5, 2]$ olmak üzere $T: C \rightarrow C$ operatörü her $x \in C$ için $T(x) = \frac{3}{4}\left(x + \frac{1}{x}\right)$ şeklinde tanımlansın. T'nin sabit noktasının $x_* = 1,732051$ olduğu açıktır. Başlangıç değeri $x_0 = 0,99$ olmak üzere kontrol dizilerini $\alpha_n = \beta_n = \gamma_n = \mu_n = \frac{1}{4}$ şeklinde seçelim. MATLABR-2015a programı kullanılarak elde edilen aşağıdaki tablo, (2) ile verilen iterasyon yönteminin CR (Chugh vd., 2012), S* (Karahan & Özdemir, 2013) ve Picard-Mann (Khan, 2013) iterasyon yöntemlerinden daha hızlı olduğunu göstermektedir:

x_n	CR	S*	Picard-Mann	(2) nolu iterasyon
x_0	0,99	0,99	0,99	0,99
x_1	1,533278	1,531554	1,509269	1,603175
x_2	1,653559	1,650753	1,641654	1,698759
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
x_{12}	1,731973	1,731950	1,731935	1,732050
x_{13}	1,732018	1,732007	1,732000	1,732051
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
x_{18}	1,732050	1,732050	1,732050	\vdots
x_{19}	1,732051	1,732051	1,732050	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	1,732051	\vdots

Teorem 3. (1)- (5) koşulları altında verilen problem $x_* \in C([t_0 - \tau, b], \mathbb{R}) \cap C^1([t_0, b], \mathbb{R})$ gibi bir tek çözüme sahiptir ve (2) ile verilen iterasyon yönteminden elde edilen dizi $\sum_{n=0}^{\infty} \alpha_n = \infty$ şartı altında x_* noktasına yakınsar.

İspat.

$$Tx(t) = \begin{cases} \phi(t), t \in [t_0 - \tau, t_0] \\ \phi(t_0) + \int_{t_0}^t f(s, x(s), x(s - \tau)) ds, t \in [t_0, b] \end{cases}$$

dönüşümü altında (2) ile verilen iterasyon yöntemi inşa edilerek oluşturulan dizi $\{x_n\}_{n=0}^{\infty}$ ile gösterilsin. x_* , bu dönüşümün sabit noktası olsun. $n \rightarrow \infty$ için $x_n \rightarrow x_*$ olduğu gösterilmelidir. Eğer $t \in [t_0 - \tau, t_0]$ ise ispat açıktır. $t \in [t_0, b]$ olsun. Bu durumda



$$\begin{aligned}
\|w_n - x_*\|_\infty &= \|(1 - \mu_n)x_n + \mu_n T x_n - T x_*\|_\infty \\
&\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty + \mu_n \|T x_n - T x_*\|_\infty \\
&= (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty + \mu_n \max_{t \in [t_0, b]} |T x_n(t) - T x_*(t)| \\
&= (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty \\
&\quad + \mu_n \max_{t \in [t_0, b]} \left| \begin{aligned} &\phi(t_0) + \int_{t_0}^t f(s, x_n(s), x_n(s - \tau)) ds \\ &-\phi(t_0) - \int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s - \tau)) ds \end{aligned} \right| \\
&= (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty \\
&\quad + \mu_n \max_{t \in [t_0, b]} \left| \begin{aligned} &\int_{t_0}^t f(s, x_n(s), x_n(s - \tau)) ds \\ &-\int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s - \tau)) ds \end{aligned} \right| \\
&\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty \\
&\quad + \mu_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t |f(s, x_n(s), x_n(s - \tau)) - f(s, x_*(s), x_*(s - \tau))| ds \\
&\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty \\
&\quad + \mu_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t L_d (|x_n(s) - x_*(s)| + |x_n(s - \tau) - x_*(s - \tau)|) ds \\
&\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty \\
&\quad + \mu_n \int_{t_0}^t L_d \left(\max_{t \in [t_0, b]} |x_n(s) - x_*(s)| + \max_{t \in [t_0, b]} |x_n(s - \tau) - x_*(s - \tau)| \right) ds \\
&\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty \\
&\quad + \mu_n \int_{t_0}^t L_d (\|x_n - x_*\|_\infty + \|x_n - x_*\|_\infty) ds \\
&\leq (1 - \mu_n)\|x_n - x_*\|_\infty + 2\mu_n L_d (t - t_0) \|x_n - x_*\|_\infty \\
&\leq [1 - \mu_n (1 - 2L_d (b - t_0))] \|x_n - x_*\|_\infty
\end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}
 \|z_n - x_*\|_\infty &= \|(1 - \gamma_n)w_n + \gamma_n T w_n - T x_*\|_\infty \\
 &\leq (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\|_\infty + \gamma_n \|T w_n - T x_*\|_\infty \\
 &= (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\|_\infty + \gamma_n \max_{t \in [t_0, b]} |T w_n(t) - T x_*(t)| \\
 &= (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\|_\infty \\
 &\quad + \gamma_n \max_{t \in [t_0, b]} \left| \phi(t_0) + \int_{t_0}^t f(s, w_n(s), x_n(s - \tau)) ds \right. \\
 &\quad \left. - \phi(t_0) - \int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s - \tau)) ds \right| \\
 &= (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\|_\infty \\
 &\quad + \gamma_n \max_{t \in [t_0, b]} \left| \int_{t_0}^t f(s, w_n(s), x_n(s - \tau)) ds \right. \\
 &\quad \left. - \int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s - \tau)) ds \right| \\
 &\leq (1 - \mu_n)\|w_n - x_*\|_\infty \\
 &\quad + \gamma_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t |f(s, w_n(s), w_n(s - \tau)) - f(s, x_*(s), x_*(s - \tau))| ds \\
 &\leq (1 - \mu_n)\|w_n - x_*\|_\infty \\
 &\quad + \gamma_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t L_d (|w_n(s) - x_*(s)| + |w_n(s - \tau) - x_*(s - \tau)|) ds \\
 &\leq (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\|_\infty \\
 &\quad + \gamma_n \int_{t_0}^t L_d \left(\max_{t \in [t_0, b]} |w_n(s) - x_*(s)| + \max_{t \in [t_0, b]} |w_n(s - \tau) - x_*(s - \tau)| \right) ds \\
 &\leq (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\|_\infty \\
 &\quad + \gamma_n \int_{t_0}^t L_d (\|w_n - x_*\|_\infty + \|w_n - x_*\|_\infty) ds \\
 &\leq (1 - \gamma_n)\|w_n - x_*\|_\infty + 2\gamma_n L_d (t - t_0) \|w_n - x_*\|_\infty \\
 &\leq [1 - \gamma_n(1 - 2L_d(b - t_0))] \|w_n - x_*\|_\infty
 \end{aligned}$$

olur. Ayrıca

$$\begin{aligned}
 \|y_n - x_*\|_\infty &= \|(1 - \beta_n)T x_n + \beta_n T z_n - T x_*\|_\infty \\
 &\leq (1 - \beta_n)\|T x_n - T x_*\|_\infty + \beta_n \|T z_n - T x_*\|_\infty \\
 &= (1 - \beta_n) \max_{t \in [t_0, b]} |T x_n(t) - T x_*(t)| + \beta_n \max_{t \in [t_0, b]} |T z_n(t) - T x_*(t)| \\
 &= (1 - \beta_n) \max_{t \in [t_0, b]} \left| \int_{t_0}^t f(s, x_n(s), x_n(s - \tau)) ds \right. \\
 &\quad \left. - \int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s - \tau)) ds \right|
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& +\beta_n \max_{t \in [t_0, b]} \left| \int_{t_0}^t f(s, z_n(s), z_n(s-\tau)) ds \right. \\
& \left. - \int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s-\tau)) ds \right| \\
& \leq (1-\beta_n) \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t |f(s, x_n(s), x_n(s-\tau)) - f(s, x_*(s), x_*(s-\tau))| ds \\
& +\beta_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t |f(s, z_n(s), z_n(s-\tau)) - f(s, x_*(s), x_*(s-\tau))| ds \\
& \leq (1-\beta_n) \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t L_d (|x_n(s) - x_*(s)| + |x_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)|) ds \\
& +\beta_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t L_d (|z_n(s) - x_*(s)| + |z_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)|) ds \\
& \leq (1-\beta_n) \int_{t_0}^t L_d \left(\max_{t \in [t_0, b]} |x_n(s) - x_*(s)| + \max_{t \in [t_0, b]} |x_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)| \right) ds \\
& +\beta_n \int_{t_0}^t L_d \left(\max_{t \in [t_0, b]} |z_n(s) - x_*(s)| + \max_{t \in [t_0, b]} |z_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)| \right) ds \\
& \leq (1-\beta_n) \int_{t_0}^t L_d (\|x_n - x_*\|_\infty + \|x_n - x_*\|_\infty) ds \\
& +\beta_n \int_{t_0}^t L_d (\|z_n - x_*\|_\infty + \|z_n - x_*\|_\infty) ds \\
& \leq 2(1-\beta_n)L_d(b-t_0)\|x_n - x_*\|_\infty + 2\beta_n L_d(b-t_0)\|z_n - x_*\|_\infty \\
& = 2L_d(b-t_0)[(1-\beta_n)\|x_n - x_*\|_\infty + \beta_n\|z_n - x_*\|_\infty]
\end{aligned}$$

elde edilir. Benzer şekilde

$$\begin{aligned}
\|x_{n+1} - x_*\|_\infty & = \|(1-\alpha_n)Ty_n + \alpha_n Tz_n - Tx_*\|_\infty \\
& \leq (1-\alpha_n)\|Ty_n - Tx_*\|_\infty + \alpha_n\|Tz_n - Tx_*\|_\infty \\
& = (1-\alpha_n) \max_{t \in [t_0, b]} |Ty_n(t) - Tx_*(t)| + \alpha_n \max_{t \in [t_0, b]} |Tz_n(t) - Tx_*(t)| \\
& = (1-\alpha_n) \max_{t \in [t_0, b]} \left| \int_{t_0}^t f(s, y_n(s), y_n(s-\tau)) ds \right. \\
& \left. - \int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s-\tau)) ds \right|
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & +\alpha_n \max_{t \in [t_0, b]} \left| \int_{t_0}^t f(s, z_n(s), z_n(s-\tau)) ds - \int_{t_0}^t f(s, x_*(s), x_*(s-\tau)) ds \right| \\
 & \leq (1 - \alpha_n) \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t |f(s, y_n(s), y_n(s-\tau)) - f(s, x_*(s), x_*(s-\tau))| ds \\
 & +\alpha_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t |f(s, z_n(s), z_n(s-\tau)) - f(s, x_*(s), x_*(s-\tau))| ds \\
 & \leq (1 - \alpha_n) \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t L_d (|y_n(s) - x_*(s)| + |y_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)|) ds \\
 & +\alpha_n \max_{t \in [t_0, b]} \int_{t_0}^t L_d (|z_n(s) - x_*(s)| + |z_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)|) ds \\
 & \leq (1 - \alpha_n) \int_{t_0}^t L_d \left(\max_{t \in [t_0, b]} |y_n(s) - x_*(s)| + \max_{t \in [t_0, b]} |y_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)| \right) ds \\
 & +\alpha_n \int_{t_0}^t L_d \left(\max_{t \in [t_0, b]} |z_n(s) - x_*(s)| + \max_{t \in [t_0, b]} |z_n(s-\tau) - x_*(s-\tau)| \right) ds \\
 & \leq (1 - \alpha_n) \int_{t_0}^t L_d (\|y_n - x_*\|_\infty + \|y_n - x_*\|_\infty) ds \\
 & +\alpha_n \int_{t_0}^t L_d (\|z_n - x_*\|_\infty + \|z_n - x_*\|_\infty) ds \\
 & \leq 2(1 - \alpha_n)L_d(b - t_0)\|y_n - x_*\|_\infty + 2\alpha_n L_d(b - t_0)\|z_n - x_*\|_\infty \\
 & = 2L_d(b - t_0)[(1 - \alpha_n)\|y_n - x_*\|_\infty + \alpha_n\|z_n - x_*\|_\infty]
 \end{aligned}$$

olur. Sırasıyla elde edilen bu eşitsizlikler yerine yazılırsa;

$$\|x_{n+1} - x_*\|_\infty \leq 2L_d(b - t_0)\{1 - \alpha_n\beta_n\gamma_n[1 - 2L_d(b - t_0)]\}\|x_n - x_*\|_\infty$$

elde edilir. (5) şartı kullanılarak $0 < 1 - 2L_d(b - t_0) < 1$ elde edilir.

Dolayısıyla,

$$\|x_{n+1} - x_*\|_\infty \leq \|x_n - x_*\|_\infty - \alpha_n\|x_n - x_*\|_\infty + 2L_d(b - t_0)\alpha_n\|x_n - x_*\|_\infty$$

yazılabilir. Bu eşitsizlik düzenlenirse,

$$\|x_{n+1} - x_*\|_\infty \leq [1 - \alpha_n(1 - 2L_d(b - t_0))]\|x_{n+1} - x_*\|_\infty$$

elde edilir. Son eşitsizlikte tümevarıma geçilirse,



$$\|x_{n+1} - x_*\|_\infty \leq \prod_{k=0}^n [1 - \alpha_k(1 - 2L_d(b - t_0))] \|x_0 - x_*\|_\infty$$

olur. $[1 - \alpha_k(1 - 2L_d(b - t_0))] < 1$ olduğundan,

$$\begin{aligned} \|x_{n+1} - x_*\|_\infty &\leq \|x_0 - x_*\|_\infty \prod_{k=0}^n e^{-[1 - 2L_d(b - t_0)]\alpha_k} \\ &= \|x_0 - x_*\|_\infty e^{-[1 - 2L_d(b - t_0)]\sum_{k=0}^n \alpha_k} \end{aligned}$$

elde edilir. $n \rightarrow \infty$ için son eşitsizlikte limit alınırsa $\lim_{n \rightarrow \infty} \|x_n - x_*\|_\infty = 0$ olur.

Sonuç

Bu çalışmada yeni dört adımlı bir iterasyon yönteminin daraltan dönüşümlerin teklikle belirlenen sabit noktasına yakınsadığı ispatlanmıştır. Ayrıca gecikmeli diferansiyel denklemlerin çözümüne bu iterasyon yöntemi kullanılarak uygun koşullar altında ulaşılabileceği gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında bu çalışmada kullanılan iterasyon yönteminin Volterra-Fredholm tipindeki integral denklemlerin çözümlerinin incelenmesinde de etkin olarak kullanılabilir olduğu öngörülmektedir.

Kaynaklar

- Atalan, Y. and Karakaya, V., (2019). Investigation of some fixed point theorems in hyperbolic spaces for a three-step iteration process, *Korean J. Math.* 27, 929-947.
- Banach, S., (1922). "Sur Les Opérations Dans Les Ensembles Abstraites et Leur Application Aux Equations Intégrales», *Fundamenta Mathematicae*, 3 (1): 133-181.
- Berinde, V. (2007), *Iterative Approximation of Fixed Points*, Springer-Verlag, Berlin.
- Chugh, R. Kumar, V. ve Kumar, S., (2012). Strong convergence of a new three step iterative scheme in Banach spaces, *American Journal of Computational Mathematics*, 2: 345-357.
- Coman, G., Pavel, G., Rus, I. ve Rus, I., (1976). *Introduction on the Theory of Operatorial Equations*, Ed, Dacia, Cluj-Napoca.
- Gündoğdu, E. (2023). Hiperbolik uzaylarda sabit nokta teorisi üzerine baz sonuçlar, (Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi), Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Hardy, G.E. & Rogers, T., (1973). A generalization of a fixed point theorem of Reich, Canadian Mathematical Bulletin, 16 (2), 201-206.
- Kannan, R. (1968). «Some Results on Fixed Points», Bulletin of the Calcutta Mathematical Society, 60 (1-2): 71-76.
- Karahan, I. & Ozdemir, M., (2013). A general iterative method for approximation of fixed points and their applications, Advances in Fixed Point Theory, 3 (3): 510-526.
- Karakaya, V., Atalan, Y., Doğan, K., Bouzara, NEH., (2016). Convergence analysis for a new faster iteration method, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 15(30), 35-53.
- Khan, S.H. (2013). «A Picard-Mann Hybrid Iterative Process», Fixed point Theory and Applications, 2013 (69):
- Maldar, S., Atalan, Y., Doğan, K., (2020). Comparison rate of convergence and data dependence for a new iteration method, Tbilisi Mathematical Journal 13(4), 65-79.
- Nadler, S.B. (1969). «Multi-valued Contraction Mappings», Pacific Journal of Mathematics, 30 (2): 475-488.
- Zamfirescu, T. (1972). «Fix Point Theorems in Metric Spaces», Archiv der Mathematik, 23 (1): 292-298.

1-10.

Yazar Katkıları

Makale tek bir yazar tarafından ele alınmıştır. Doğrudan başka bir yazar tarafından katkı sağlanmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından çıkar çatışmasının olmadığı rapor edilmiştir.

Fonlama

Herhangi bir fon desteği alınmamıştır.

Etik Bildirim

Bu çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir.



Aday Öğrenci Web Sitelerinin Performans, Erişilebilirlik ve Arama Motoru Optimizasyonu Açısından İncelenmesi

Analysis of Prospective Student Websites in Terms of Performance, Accessibility and Search Engine Optimization

Muhammed Çağrı AKSU

Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Artvin/TÜRKİYE

ORCID: 0000-0002-8577-4413, cagriaksu@artvin.edu.tr

Geliş Tarihi: 15/12/2023 – **Kabul Tarihi:** 29/03/2024

DOI: 10.55205/joctensa.21202382

ATIF: Aksu, M. Ç., (2023). Aday Öğrenci Web Sitelerinin Performans, Erişilebilirlik ve Arama Motoru Optimizasyonu Açısından İncelenmesi.

Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2 (1), 56-67.

Özet

Aday öğrenci web siteleri üniversiteler ve eğitim kurumları için potansiyel öğrencilere ulaşmak, kurumların akademik programlarını, kabul süreçlerini, kampüs yaşamını ve benzersiz değerlerini tanıtmak açısından önemlidir. Bu web siteleri aday öğrencilerin bilinçli tercihler yapmalarına yardımcı olmak için kritik bir kaynak görevi görürken aynı zamanda eğitim kurumlarının genel çevrimiçi imajını ve erişilebilirliğini de şekillendirmektedir. Günümüzde aday öğrencilerin büyük bir çoğunluğu tercih süreçlerinde bu web sitelerini kullanarak karar verme süreçlerini yönlendirmektedir. Bu bağlamda web sitelerinin hızlı, kullanıcı dostu ve herkes tarafından erişilebilir olması ayrıca arama motorlarında kolayca bulunabilir olması eğitim kurumlarının potansiyel öğrencilere ulaşabilmesi için kritik önem taşımaktadır. Bu çalışma Türkiye'deki bazı üniversitelerin aday öğrenci web sitelerinin performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu açısından detaylı bir şekilde incelenmesini konu almaktadır. Analizler Google'ın Lighthouse aracı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve web sitelerinin mobil ve masaüstü versiyonlarına yönelik kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen bulgular web sitelerinin teknolojik gelişmelere ve kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlama konusunda farklı düzeylerde başarı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmanın sonuçları eğitim kurumlarının web sitelerini sürekli olarak güncel tutmaları, kullanıcı dostu bir tasarım sağlamaları, erişilebilirlik standartlarını karşılamaları ve arama motoru optimizasyonu stratejilerini etkin bir şekilde uygulamaları gerektiğinin altını çizmektedir. Bu yönde atılacak adımlar eğitim kurumlarının daha geniş bir kitleye ulaşmasını, aday öğrencilerin dikkatini çekmesini ve onların tercihlerini olumlu yönde etkilemesini sağlayacaktır. Bu çalışma eğitim kurumlarının çevrimiçi varlıklarını optimize etme çabalarına yönelik değerli iç görüler sunarak rekabetçi bir eğitim ortamında başarıya ulaşmalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Anhtar Kelimeler: Aday Öğrenci Web Sitesi, Erişilebilirlik, Performans, Arama Motoru Optimizasyonu.

Abstract

Prospective student websites are crucial for universities and educational institutions to reach potential students, showcasing their academic programs, admission processes, campus life, and unique values. These websites serve as a critical resource to assist prospective students in making informed choices while also shaping the overall online image and accessibility of educational institutions. Nowadays, a majority of prospective students utilize these websites during their decision-making process in the selection phases. In this context, the speed, user-friendliness, and accessibility of these websites to everyone, as well as their easy discoverability on search engines, are of critical importance for educational institutions to reach potential students. This study examines the performance, accessibility, and search engine optimization of prospective student websites of some universities in Turkey in detail. The analyses were conducted using Google's Lighthouse tool, providing a comprehensive evaluation of both mobile and desktop versions of the websites. The findings reveal varying levels of success in adapting to technological advancements and user needs among the websites. The results underline the necessity for educational institutions to continually update their websites, ensure a user-friendly design, meet accessibility standards, and effectively implement search engine optimization strategies. Such measures will enable educational institutions to reach a broader audience, attract the attention of prospective students, and positively influence their choices. This study aims to provide valuable insights into optimizing online presences for educational institutions, assisting them in achieving success in a competitive educational environment.

Keywords: Prospective Student Website, Accessibility, Performance, Search Engine Optimization.

GİRİŞ

1990'larda CERN laboratuvarlarında HTML işaretleme dilinin geliştirilmesinden ve World Wide Web - Dünya Çapında Ağ (WWW) olarak da adlandırılan bilgi paylaşım sisteminin kurulmasından itibaren web teknolojileri oldukça gelişti ve çeşitlilik gösterdi (Berners-Lee et al., 1994). İlk başlarda sadece bilgisayarlar üzerinden erişilebilen ve internet ortamında bilgi sunulan bir panoya benzetilen web siteleri, günümüzde hem farklı türlerde cihazlardan erişilebilmekte hem de kullanıcı etkileşimli olmaktadır. Günümüzde yaklaşık 200 milyon aktif web sitesi bulunmaktadır ve günde yaklaşık 250 bin yeni web sitesi oluşturulmaktadır (NJ, 2023). Böyle bir ortamda web sitesi sahipleri ziyaretçi pastasından daha fazla pay alabilmek adına web sitelerini daha performanslı, erişilebilir ve arama motorlarına uyumlu hale getirmektedir.

Web sitelerinde performans kavramı web sitesinin kullanıcılara sunma hızıyla ve web sitelerinin kullanıcı etkileşimlerine nasıl yanıt verdiğiyle alakalıdır (Barker, 2012). Yüksek performanslı web siteleri daha hızlı yüklenirler ve daha iyi bir kullanıcı deneyimi sağlarlar. Erişilebilirlik ise web sitelerinin, engellilerin diğer kullanıcılar gibi sitelere erişebilmelerini



sağlayacak şekilde tasarlanması ve geliştirilmesi olarak ifade edilmektedir (Ara & Sik-Lányi, 2022). Erişilebilirlik web sitelerinin işlevselliğini engelleyebilecek bariyerleri kaldırmayı amaçlamaktadır (Boyalakuntla et al., 2021). Erişilebilir web siteleri daha geniş bir kullanıcı kitlesine hitap edilmesini sağlamaktadır. Arama motoru optimizasyonu ise bir web sitesinin arama motoru sonuçlarında üst sıralarda çıkabilmesi için gerekli olan ayarlamalar ve stratejileridir (Carroll, 2018). Arama motoru optimizasyonu bir web sitesinin çevrimiçi görünürlük ve ziyaret edilme oranlarında artış için kritik öneme sahiptir.

Web teknolojilerinin sürekli ilerlemesi ve performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu gibi kavramların ortaya çıkması, işletmelerin, eğitim kurumlarının ve bireylerin dünya çapında bilgi ve kaynaklara daha kolay erişim sağlamalarını aynı zamanda daha geniş ve çeşitlendirilmiş bir kitleyle etkileşimde bulunmalarını mümkün kılmaktadır. Bu durum olumlu gibi görünmekle birlikte sürekli artan web sitesi sayısı nedeniyle hiç de kolay değildir. Web sitesi sağlayıcıları hem web sitelerini gelişen teknolojiye uyumlu hale getirmek durumunda kalmakta hem de diğer web sitesi sağlayıcılarıyla rekabet etmektedir. Bu rekabet kullanıcı deneyimini iyileştirmek, daha hızlı yükleme süreleri sunmak, mobil uyumluluk sağlamak ve en önemlisi, arama motorlarında üst sıralarda yer almak için sürekli inovasyon ve optimizasyon çabalarını zorunlu kılmaktadır (Vuran & Alpkoçak, 2020; Yılmaz, 2020; Yüksel et al., 2020).

Yukarıda belirtilen rekabet daha çok maddi kazanç elde etme amacı güden sektörler için geçerlidir. Ancak belirtilen rekabet sadece bu sektörler için geçerli olmakla kalmaz özellikle tercih döneminde öğrencileri kendi bünyelerine çekmek isteyen eğitim kurumları için de geçerlidir. Öğrencilerin tercih süreçlerinde bilinçli kararlar verebilmeleri için aradıkları bilgilere hızlı ve kolay erişim sağlayan aynı zamanda kurumun değerlerini, akademik programlarını ve kampüs yaşamını etkileyici bir şekilde sunan aday öğrenci web siteleri üniversiteler için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (Macakoğlu et al., 2022). Üniversiteler potansiyel öğrencilere kendilerini en iyi şekilde tanıtmak için web sitelerini sürekli güncel tutmakta, kullanıcı dostu bir tasarım ve etkileşimli içeriklerle ziyaretçilerin dikkatini çekmeyi hedeflemektedirler. Böylece sadece akademik başarılarını ve olanaklarını değil aynı zamanda kampüs kültürünü ve öğrenci yaşamını da ön plana

çıkarak öğrencilerin tercihlerini etkilemeyi hedeflemektedirler. Schimmel et al. (2010) tarafından yapılan araştırma üniversite tercihi sürecinde olan öğrencilerin büyük bir çoğunluğunun (%94) karar verme süreçlerinde önemli bir bilgi kaynağı olarak ilgili üniversitelerin web sitelerini kullandığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu aday öğrenci web sitelerinin potansiyel öğrenciler için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Potansiyel öğrenciler tercih aşamasında üniversiteler hakkında bilgi edinmek, akademik programlar, kampüs olanakları, öğrenci yaşamı gibi olanakları araştırmak için bu sitelere başvurumaktadırlar. Dolayısıyla üniversitelerin web siteleri öğrencilerin bilgi edinme ve tercihlerini şekillendirme sürecinde kritik bir role sahiptir. Bu nedenle üniversite web sitelerinin kullanıcı dostu, erişilebilir, güncel ve kapsamlı bilgi sunması, potansiyel öğrencileri çekme ve onların tercihlerini etkileme açısından büyük önem taşımaktadır. Bu motivasyondan yola çıkarak bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren bazı üniversitelerin aday öğrenci web sitelerinin performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu açısından incelenmiş ve elde edilen sonuçlar raporlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışmanın uygulama alanı öğrenci tercihlerinde belirleyici faktörler olan coğrafi yakınlık ve kuruluş tarihlerinin benzerliği gözetilerek; Ardahan Üniversitesi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Bayburt Üniversitesi, Erzurum Teknik Üniversitesi ve Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi olmak üzere beş üniversitenin aday öğrenci web sitesi olarak belirlenmiştir. Bu seçim süreci, potansiyel öğrencilerin tercih eğilimlerini ve üniversiteler arasındaki akademik ve yapısal benzerlikleri dikkate almak amacıyla eğitim uzmanlarından alınan görüşlere dayanmaktadır. Belirli coğrafi bölgelerdeki öğrencilerin çevresel ve akademik benzerlik gösteren yakın üniversiteleri tercih etme olasılığı bu üniversitelerin web sitelerinin analiz edilmesi için uygun bir temel sunar. Bu yaklaşım üniversitelerin web sitelerinin nasıl daha etkili optimize edilebileceği konusunda derinlemesine bir anlayış geliştirmeyi ve genel olarak Türkiye'deki eğitim kurumlarının çevrimiçi varlıklarını geliştirme stratejilerine katkıda bulunmayı hedefler. Seçilen üniversitelerin bu özellikleri çalışmanın bulgularının geniş bir perspektifte değerlendirilmesine ve Türkiye'deki diğer üniversiteler için de geçerli olabilecek sonuçlar üretmesine olanak tanır.

Yöntem

Bir web sitesinin performansını, erişilebilirliğini ve arama motoru uyumluluğunu ölçebilmek adına çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin ortak özellikleri web sitelerinin önceden belirlenen kriterleri taşıyıp taşımadığının tespitiyle gerçekleştirilmesidir.

Maruf and Özdemir (2021), Türkiye'deki ticari bankalara ait web sitelerinin performanslarını SWARA ve ARAS yöntemleriyle sıralamıştır. Benzer şekilde Kılıç and Çakaröz (2021), web site tasarım özelliklerinin web site performansı üzerindeki etkisini deneysel bir çalışma ile belirlemiştir. Bu çalışmalar web sitelerinin performansını belirlemede farklı analiz yöntemlerinin kullanılabilceğini göstermektedir.

Web sitelerinin erişilebilirliğini belirlemede, performansı belirlemedeki benzer bir durum karşımıza çıkmaktadır. Web sitelerinde erişilebilirliğin değerlendirilmesi, özellikle engelli bireylerin interneti kullanabilmelerini

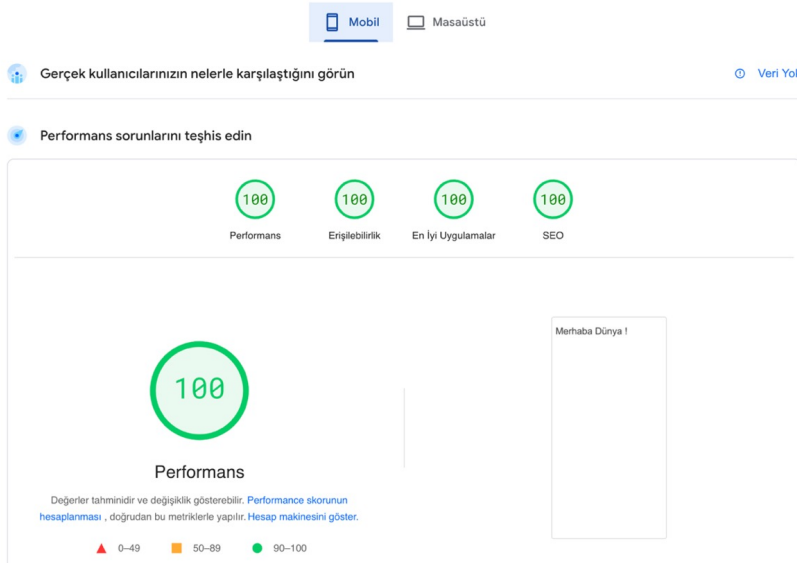
sağlamak açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda erişilebilirlik değerlendirmesi için kullanılan çeşitli araçlar mevcuttur. Bu araçlar genellikle web sayfalarının erişilebilirlik standartlarına uygunluğunu test etmek için tasarlanmıştır. WAVE (Web Accessibility Evaluation Tool) bu alandaki popüler araçlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (WAVE Web Accessibility Evaluation Tools, 2021). WAVE web sayfası üzerinde doğrudan analiz yaparak erişilebilirlikle ilgili potansiyel sorunları görsel olarak işaretlemektedir. Bu araç hatalar, uyarılar ve erişilebilirlik önerileri sunarak web geliştiricilerine ve site sahiplerine yol göstermektedir. Bu alanda kullanılan başka bir önemli araç olan AXE ise web sayfalarının erişilebilirliğini otomatik olarak değerlendirmek için kullanılmaktadır. AXE sayfa içerisindeki HTML ve diğer elementleri inceleyerek, erişilebilirlik sorunlarını belirlemekte ve düzeltme önerileri sunmaktadır (AXE: Accessibility for Development Teams, 2021).

Web sitelerinin arama motorlarına uygunluğunu belirlemede diğer kriterlerde olduğu gibi oldukça fazla araç bulunmaktadır. Ahrefs, SEMrush ve Moz bu araçlardan en bilindik olanlarıdır. Bu araçlar web sitesinin arama motorlarına uyumluluk durumunu değerlendirmeye, web sitelerinin zayıf yönlerini belirlemeye ve web sitelerinde iyileştirmeler yapmaya yardımcı olan araçlardır (Stemler, 2020). Bu araçlar genellikle ücretli araçlar olmakla birlikte ücretsiz olan araçlar da bulunmaktadır.

Web sitelerinin erişilebilirlik, performans ve arama motoru optimizasyonu gibi kritik özelliklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi günümüz dijital ortamında büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda yukarıda bahsedilen araçlar bu üç önemli özelliği ayrı ayrı test etmek için kullanılmaktadır. Ancak Google'ın geliştirdiği Lighthouse aracı bu özellikleri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirebilme avantajı sunmaktadır. Lighthouse kullanıcıların herhangi bir web tarayıcısı üzerinden <https://pagespeed.web.dev> adresine erişerek analiz etmek istedikleri web sayfasının URL'sini girip bir butona tıklayarak kolayca web sitelerini test edebilmelerine olanak tanır. Bu işlem yaklaşık 30 ila 60 saniye içerisinde tamamlanmakta ve web sitelerinin performans, erişilebilirlik ve SEO açısından detaylı bir analizini sunmaktadır (Google, 2021).

Lighthouse web sitelerinin hem mobil hem de masaüstü versiyonlarını incelemekte, performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu için Şekil 1'de görüldüğü gibi 100 üzerinden bir puanlama yapmaktadır.

Aynı zamanda web sitesindeki uygulamalardan nelerin doğru nelerin yanlış yapıldığını gösteren detaylı bir rapor sağlamaktadır. Bu rapor web geliştiricilerine ve site sahiplerine web sitelerindeki eksiklikleri tespit etme ve gerekli iyileştirmeleri yapma konusunda değerli içgörüler sunmaktadır. Bu çalışmada kolay kullanımı ve belirtilen üç özelliği eş zamanlı olarak test etme imkânı sağlaması nedeniyle Lighthouse aracı kullanılmıştır. Çalışma kapsamındaki üniversite aday öğrenci web siteleri bu araç kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar web sitelerinin performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu açısından raporlanmıştır.



Şekil 1. Lighthouse aracı analiz sonuç ekranı örneği

Lighthouse aracının güvenilirliği ve geçerliliği sürekli güncellemeler, kapsamlı dokümantasyon, endüstri standartlarına uyumu ve geniş kullanıcı tabanı yönüyle desteklenir. Açık kaynak olması şeffaflığı artırırken gerçek dünya kullanım senaryolarına odaklanması sonuçların uygulanabilirliğini güçlendirmektedir. Lighthouse'un geniş kabul görmesi ve sektördeki yaygın kullanımı onun web geliştirme ve optimizasyon alanında güvenilir bir kaynak olduğunu göstermektedir.

BULGULAR

Çalışmanın uygulama alanında bulunan üniversitelerin web siteleri Lighthouse aracı ile analiz edilmiş ve analiz sonuçları Tablo 1’de sunulmuştur. Lighthouse aracı web sitelerini performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu açısından denetlemekte ve bu denetimler için 100 üzerinden bir skor belirlemektedir. Lighthouse bu denetimleri web sitelerinin hem mobil versiyonlarına hem de masaüstü versiyonlarına yönelik gerçekleştirmektedir. Çalışma kapsamında ilgili web sitelerin genel durumunu görebilmek adına tüm bu denetimler neticesinde elde edilen skorların ortalaması alınmış ve aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Üniversite	Performans		Erişilebilirlik		Arama Motoru Optimizasyonu		Ortalama	
	Mobil	Masaüstü	Mobil	Masaüstü	Mobil	Masaüstü	Mobil	Masaüstü
Ardahan Üniversitesi	70	81	62	62	69	82	67	75
Artvin Çoruh Üniversitesi	73	91	99	99	92	91	88	93.6
Bayburt Üniversitesi	56	57	92	96	82	83	76.6	78.6
Erzurum Teknik Üniversitesi	25	25	86	81	83	80	64.6	62
Recep Tayyip Erdoğan Üni.	51	56	53	59	75	64	59.6	59.6

Tablo 1. Analiz Sonuçları

Tablo1’de görüldüğü üzere, genel olarak web sitelerinin masaüstü versiyonları mobil versiyonlara kıyasla daha yüksek skorlara ulaşmış görülmektedir. Bu durum masaüstü kullanıcı deneyiminin genel olarak mobil deneyimden daha iyi olduğunu göstermektedir.

Ardahan Üniversitesi’nin web sitesi, her iki platformda da dengeli bir performans sergilemiş ve ortalama olarak makul skorlar elde etmiştir. Artvin Çoruh Üniversitesi web sitesi ise masaüstünde erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu kategorilerinde oldukça yüksek skorlar elde ederek dikkat çekmektedir. Bu durum mobil ve masaüstü için ortalama olarak en yüksek skorları almasını sağlamıştır. Bayburt Üniversitesi’nin web sitesi erişilebilirlik konusunda yüksek skorlar almış ancak performans skorları

nispeten düşük kalmıştır. Erzurum Teknik Üniversitesi'nin web sitesi masaüstünde iyi bir erişilebilirlik skoru alırken mobil ve masaüstü performans kategorilerinde oldukça düşük skorlar almıştır ki bu da genel ortalamasının diğer üniversitelere kıyasla düşük olmasına sebep olmuştur. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi ise her iki platformda da nispeten düşük skorlar elde etmiştir. Bu durum web sitesinin genel olarak diğerlerine göre daha az optimize olduğunu göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren beş üniversitenin aday öğrenci web sitelerinin performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu açısından incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar web sitelerinin teknolojik gelişmelere ve kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlama konusunda farklı düzeylerde başarı gösterdiğini ortaya koymuştur. Masaüstü versiyonları genellikle mobil versiyonlara kıyasla daha yüksek performans, erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu skorlarına sahip olmuştur. Bu durum web sitelerinde masaüstü kullanıcı deneyiminin mobil deneyime göre daha iyi optimize edildiğini göstermektedir. Masaüstü versiyonlarının mobil versiyonlara kıyasla genellikle daha yüksek performans, erişilebilirlik ve SEO skorlarına sahip olması üniversitelerin web geliştirme stratejilerinin hala masaüstü kullanımına odaklandığını göstermektedir. Bu durum, günümüzde mobil cihaz kullanımının arttığı göz önünde bulundurulduğunda eğitim kurumlarının mobil uyumluluk konusunda daha fazla çaba sarf etmeleri gerektiğini işaret eder. Mobil uyumluluğun artırılması özellikle genç nesiller arasında yaygın olan mobil cihaz kullanım alışkanlıklarına daha iyi hizmet edecektir.

Özellikle Artvin Çoruh Üniversitesi'nin web sitesi erişilebilirlik ve arama motoru optimizasyonu kategorilerinde dikkat çekici derecede yüksek skorlar elde ederek bu alanlarda diğer üniversitelere kıyasla öne çıkmıştır. Diğer yandan Erzurum Teknik Üniversitesi'nin web sitesi performans kategorisinde düşük skorlar alarak genel ortalamanın altında kalmıştır. Bu durum bazı üniversitelerin web sitelerinin kullanıcı deneyimini iyileştirmek ve daha geniş bir kitleye ulaşmak için daha fazla çaba sarf etmesi gerektiğini göstermektedir. Artvin Çoruh Üniversitesi'nin erişilebilirlik ve SEO kategorilerinde yüksek skorlar elde etmesi bu alanlarda uygulanan iyileştirme stratejilerinin başarısını göstermektedir. Diğer üniversitelerin de bu başarı-

yı model olarak erişilebilirlik ve SEO stratejilerini güçlendirmeleri web sitelerinin daha geniş bir kitleye ulaşmasını ve potansiyel öğrenciler tarafından kolayca bulunmasını sağlayabilir. Erzurum Teknik Üniversitesi'nin performans kategorisinde düşük skorlar alması teknik optimizasyonların yetersizliğine işaret etmektedir. Bu durum özellikle yüklenme süreleri ve kullanıcı deneyimi konusunda iyileştirmeler yapılması gerektiğini göstermektedir. Performans iyileştirmeleri kullanıcıların siteyi daha etkili bir şekilde gezinmesini ve aradıkları bilgilere hızlı bir şekilde ulaşmasını sağlayarak olumlu bir ilk izlenim bırakabilir.

Web sitelerinin erişilebilirlik, performans ve arama motoru optimizasyonu açısından değerlendirilmesi özellikle aday öğrencilerin tercih süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Aday öğrenciler bu web siteleri aracılığıyla üniversiteler hakkında bilgi edinmekte ve karar verme süreçlerinde bu web sitelerinde bulunan bilgilere dayanarak tercihlerini şekillendirmektedirler. Dolayısıyla üniversitelerin web sitelerinin kullanıcı dostu, hızlı ve erişilebilir olması potansiyel öğrencilerin dikkatini çekme ve onları etkileme açısından kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular üniversite aday öğrenci web sitelerinin geliştirilmesi noktasında yol gösterici özellik taşımaktadır. Web sitelerinin performansını artırmak, erişilebilirliği sağlamak ve arama motorlarında daha iyi sıralanmak için gerekli adımların atılması üniversitelerin daha geniş bir kitleye ulaşmasına ve aday öğrenciler tarafından tercih edilme olasılığını artırmasına yardımcı olabilir. Sonuç olarak üniversite aday öğrenci web sitelerinin teknolojik gelişmeleri takip etmesi, kullanıcı ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanması ve sürekli olarak iyileştirilmesi rekabetçi bir eğitim ortamında başarıya ulaşmanın anahtarlarından biri olabilir. Bu çalışma bu yönüyle ilgili alanda yapılacak olan sonraki çalışmalara yön verme noktasında önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- Ara, J., & Sik-Lányi, C. (2022). Investigation of COVID-19 Vaccine Information Websites Across Europe and Asia Using Automated Accessibility Protocols. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2867. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052867>
- AXE: Accessibility for Development Teams. (2021). <https://www.deque.com/axe/>
- Barker, T. (2012). What is Performance. In *Pro JavaScript Performance: Monitoring and Visualization* (pp. 1-12). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-4750-0_1
- Berners-Lee, T., Cailliau, R., Luotonen, A., Nielsen, H. F., & Secret, A. (1994). The World-Wide Web. *Communications of the Acm*, 37(8), 76-82. <https://doi.org/10.1145/179606.179671>
- Boyalakuntla, K., Venigalla, A. S. M., & Chimalakonda, S. (2021). WAccess -- A Web Accessibility Tool Based on WCAG 2.2, 2.1 and 2.0 Guidelines. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2107.06799>
- Carroll, N. (2018). Search Engine Optimization. In J. D. McDonald & M. Levine-Clark (Eds.), *Encyclopedia of Library and Information Sciences* (Vol. 1). CRC Press.
- Google. (2021). Lighthouse. <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview>
- Kılıç, S., & Çakaröz, K. M. (2021). An Experimental Study on the Effects of Website Design Features on Website Performance. *Girişimcilik İnovasyon Ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 5(10), 98-112. <https://doi.org/10.31006/gipad.993545>
- Macakoğlu, Ş. S., Peker, S., Medeni, I. T., & Medeni, T. D. (2022). Evaluating the Accessibility, Usability, and Security of Turkish Universities' Prospective Student Web Pages. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 15(3), 261-274. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.1066330>
- Maruf, M., & Özdemir, K. (2021). Türkiye'deki Ticari Bankalara Ait Web Sitelerin Performanslarının SWARA Ve ARAS Yöntemi İle Sıralanması. *Opus Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 18, 1514-1537. <https://doi.org/10.26466/opus.888184>
- NJ. (2023). How Many Websites Are There in the World? <https://sitefy.com/how-many-websites-are-there/>
- Schimmel, K., Motley, D., Racic, S., Marco, G., & Eschenfelder, M. (2010). The importance of university web pages in selecting a higher education institution. *Research in Higher Education Journal*, 9(1).
- Stemler, S. (2020). 12 Tools to Help Measure SEO Performance. <https://www.webascender.com/blog/12-tools-to-help-measure-seo-performance/>
- Vuran, E. G., & Alpoçak, A. (2020). Arama Motoru Optimizasyon Yöntemlerinin Analizi. *Deu Muhendislik Fakultesi Fen Ve Muhendislik*, 22(65), 491-503. <https://doi.org/10.21205/deufimd.2020226517>
- WAVE Web Accessibility Evaluation Tools. (2021). <https://wave.webaim.org>

- Yılmaz, A. (2020). Advertising Medium Instagram: An Empirical Research on TOGG and GÜNSEL Electric Car Brands. Erciyes İletişim Dergisi, 7(2), 895-915. <https://doi.org/10.17680/erciyesiletisim.725929>
- Yüksel, D., Sümültepe, K., & Tolon, M. (2020). Arama Motoru Optimizasyonu (SEO) Analiz Skoru İle Sıralama İlişkisi: Google Lighthouse. Journal of Business Research – Turk, 12(2), 2113-2125. <https://doi.org/10.20491/isarder.2020.965>

Yazar Katkıları

Çalışma tek bir yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Fonlama

Herhangi bir fon desteği alınmamıştır.

Etik Bildirim

Çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir.



Organic Fertilizer in Medicinal and Aromatic Plant Production: SWOT Analysis and Strategies

Tıbbi ve Aromatik Bitki Üretiminde Organik Gübre: GZFT Analizi ve Stratejileri

Elanur ADAR YAZAR¹

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü. Artvin/TÜRKİYE

ORCID: 0000-0002-9609-0439, aelanur@artvin.edu.tr

Geliş Tarihi: 07/12/2023 – **Kabul Tarihi:** 05/02/2024

DOI: 10.55205/joctensa.21202377

ATIF: Adar Yazar, E., (2023). Organic Fertilizer in Medicinal and Aromatic Plant Production: SWOT Analysis and Strategies. Cihannuma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2 (1), 68-77.

Öz

Tıbbi ve aromatik bitkiler gıda, ilaç, kozmetik, ve baharat gibi amaçlar için yüzyıllardır kullanılmaktadır. Artan insan ve çevre sağlığı problemlerinden dolayı da her geçen gün organik ürünlere ilgi artmaktadır. Organik gübre kullanımı ürün kalitesini artırma haricinde toprağı iyileştirme ve atığı değerlendirmeyi de sağlar. Çalışmanın amacı, tıbbi ve aromatik bitki üretiminde organik gübre kullanımının SWOT analizini gerçekleştirmek ve stratejiler belirlemektir. Gerçekleştirilen SWOT analizinde güçlü yönler ve fırsatların zayıf yönler ve tehditlere kıyasla çok olduğu görülmüştür. Stratejiler (SO, ST, SW, WO, WT, WT, OT) belirlenmiştir. Zayıf yönler ve tehditler devlet teşviki, eğitim ile azaltılabilir. En dikkate değer zayıf yön, organik gübre kullanımının verimin az olmasına neden olmasıdır. Sadece verim bazlı değil kalite bazlı ürün üretme amacını edinen biri kimyasal gübre yerine organik gübre kullanılmalıdır. Organik gübre sağlıklı, kaliteli ürün üretmeyi sağlar, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirir ve organik içerikli atıklardan üretilmesi halinde de çevre kirliliğini ve yönetilmesi gereken atık miktarını azaltır. Devlet, insan ve çevre sağlığını korumak ve iç/dış pazarların artmasını sağlamak için organik gübre kullanımını daha fazla teşvik etmelidir. Organik gübrenin etkin üretimi ve kullanımı için üreticiye eğitim verilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi ve aromatik bitki, organik gübre, GZFT analiz, strateji.

Abstract

Medicinal and aromatic plants have been used for centuries for food, medicine, cosmetics, and spices. Due to increasing human and environmental health problems, interest in organic products is increasing day by day. The use of organic fertilizers not only improves crop quality but also improves soil and utilizes waste. The aim of the study is to conduct a SWOT analysis of the use of organic fertilizers in medicinal and aromatic plant production and to identify strategies. The SWOT analysis showed that strengths and opportunities outnumbered weaknesses and threats. Strategies (SO, ST, SW, WO, WT, WT, OT) were identified. Weaknesses and threats can be reduced by government

incentives and training. The most notable weakness is that the use of organic fertilizers leads to low yields. Someone who aims to produce not only yield-based but also quality-based products should use organic fertilizers instead of chemical fertilizers. Organic fertilizer produces healthy, quality crops, improves the physical, chemical and biological properties of the soil and, if produced from organic waste, reduces environmental pollution and the amount of waste to be managed. The state should further promote the use of organic fertilizer to protect human and environmental health and to increase domestic/foreign markets. Producers should be trained in the effective production and use of organic fertilizer.

Keywords: Medicinal and aromatic plant, organic fertilizer, SWOT analysis, strategy.

INTRODUCTION

Medicinal and aromatic plants (MAPs) are used for food, medicine, cosmetics, and spices. MAPs are either collected from nature or grown under favorable ecological conditions. Although MAPs have been used since ancient times, interest is increasing day by day due to increasing health problems. Türkiye is a country rich in MAPs in terms of climate. All regions of Türkiye (especially Aegean, Marmara, Mediterranean, Eastern Black Sea and Southeastern Anatolia) produce MAPs. Quality is as important as yield in MAP production (Yaldız et al. 2019).

Interest in organic agriculture is increasing due to increasing health and environmental awareness. For this reason, organic fertilizers should be preferred in MAP production considering their intended use. By using organic fertilizers, organic production is realized, environmental pollution is reduced and soil quality is improved. For this reason, it is extremely important to use organic fertilizers instead of inorganic (chemical) fertilizers in MAP production. Organic fertilizer can be produced from animal and plant wastes and biosolids (Anonymous1, 2010). Many studies (Succop and Newman, 2004; Kocabaş et al., 2007; Aboutalebi et al. 2013; Yaldız et al. 2017; Yüksek et al., 2020; Farrokhi et al., 2021; Rahimi et al., 2023; Askary et al., 2023) have been conducted on the use of organic fertilizers in MAP production. In the study where thyme was grown using different organic fertilizers (vermicompost, compost, animal manure), it was stated that vermicompost was an effective fertilizer (Rahimi et al., 2023). In most of the studies, it has recommended the use of inorganic and organic fertilizers together. The reason for this is to obtain the desired yield. Because it has been stated that the desired yield cannot be obtained only with the use of organic fertilizers. SWOT analysis studies on organic agriculture are limited (Tashi and



Wangchuk 2016; Mioldayzs et al. 2016; Merdan 2018; Srednicka-Tober et al., 2018). Mioldayzs et al. (2016) conducted a SWOT analysis of animal manure and plant residues. The SWOT analysis indicated that wastes of animal origin are more suitable for fertilizer production than wastes of plant origin.

The aim of this study is to give information about MAP and organic fertilizer, to examine studies on the use of organic fertilizer in MAP production, to conduct a SWOT analysis and to propose strategies for the use of organic fertilizer in MAP production.

MAP IN TURKIYE AND ORGANIC FERTILIZER

Organic plant production in Turkiye is 1101236.97 tons. 216863.10 ha of which is produced and 24334.03 ha of which is collected from nature. Carob, rose hips, chamomile, chamomile, mint, wild herbs, laurel, melissa, centaury and nettles are generally collected from nature. Carob (3724 tons), laurel (1227 tons), rose (902 tons), poppy (514 tons), capers (438 tons), black cumin (321 tons), fennel (277 tons), cumin (268 tons), blueberries (241 tons), lavender (155 tons), anise (113 tons), gilaburu (78.5 tons), tarragon (72 tons), coral root (22 tons), melissa/sonica (17 tons), cress (14.5 tons), mint (8.3 tons) centaury (7 tons), basil (6.25 tons), lemon balm (4.5 tons), wolfberry/goji berry (4, 5 tons), coriander (4.5 tons), sorrel (3.5 tons), chamomile (3.5 tons), echinacea (1 ton), and zahterin (0.5 tons) (TOB, 2022). Antalya, Aydın, İzmir, Mersin and Kocaeli rank first in terms of plant diversity (KIRICI, 2015). Interest in good agriculture has also increased day by day. In 2007, good agriculture was practiced in 18 provinces and in 2021 in 63 provinces. The production amount is around 6612544 tons (TOB, 2022).

Organic fertilizers can be divided into 5 groups: barn-poultry manure, compost, vermicompost, biological fertilization (application of mycorrhizal fungi and bacteria) and green manuring. Organic fertilizers improve the physical, chemical and biological properties of the soil (Bachman and Metzger, 2008) and are a product that enables organic farming (only organic fertilizers are used) or good agriculture (minimal pesticides and chemical fertilizers are allowed). Organic fertilizers can have different contents depending on the source. The properties of some heavy animal manures are given in Table 1. The number of cattle, buffalo, sheep, and goats is approximately 17 million, 172 thousand, 45 million, and 12 thousand, respectively. The

number of chicken, turkey, duck and goose poultry is approximately 361 thousand, 4 thousand, 432 thousand, and 1400 respectively (TUIK, 2022).

Genus	H ₂ O (%)	Dry Matter (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
Cattle	83.2	16.2	0.29	0.17	0.10	0.34
Horse	75.7	24.3	0.44	0.35	0.35	0.15
Sheep	65.5	34.8	0.55	0.31	0.15	0.46
Goose, Duck	75.0	25.0	0.80	1.00	0.80	1.30
Pigeon, Chicken	62.0	38.0	1.70	1.60	0.90	2.00

Table 1. *Properties of Barn Animal Manures (Yaldız et al., 2019; Anonymous1, 2010)*

Compost is a method used to obtain fertilizer from organic wastes. All wastes can be composted except inorganics (plastic, glass, metal, etc.) and organics (coal ash, medicines, medical waste, plants with pesticides, etc.) containing harmful and hazardous substances. Producing fertilizer with compost provides both waste minimization and the fertilizer produced improves some properties of the soil (Anonymous2, 2023). Vermicompost is produced by digestion of organic wastes by some earthworms (Şimşek-Erşahin, 2007). Some fungi and bacteria are used in biological fertilization (Yaldız et al., 2019). Green manuring is also preferred especially in regions where animal wastes are limited. The plants used as green manure are legumes (clover, meadow clover, stone clover, soybean, fodder pea, fodder cowpea, red clover, hairy vetch, Hungarian vetch, hairy fruiting vetch, big vetch, common vetch, pea, damson, lupine, lupine, Alexandrian trifle, white clover), cereals (rye, oats, barley, millet, wheat, grass, sudan grass, silage corn) and other families (mustard, rape, radish, poppy, safflower, turnip) (Karakurt, 2009).

SWOT ANALYSIS AND STRATEGIES FOR THE USE OF ORGANIC FERTILIZER IN MAP PRODUCTION

Strategy is a process involving planning and management to achieve goals (Karatop, 2015). SWOT analysis is a preferred technique for planning the future. It is widely used (Houben et al., 1999; Kherirkhah et al. 2009; Şevkli et al. 2012; Ağır and Karatop, 2022). With SWOT analysis, the current situation is analyzed in terms of Strengths (S), Weaknesses (W), Opportunities (O) and Threats (T) and planning and strategizing for the future can



be easily done. While S and W are controllable, O and T are not controllable (Ağır and Karatop, 2022). SWOT analysis was conducted for the use of organic fertilizers in MAP production and is given in Table 2.

Strengths	Weaknesses
Having different fertilizer alternatives	Inadequate/unconscious use of information-training
Knowledge and experience on the use of traditional fertilizers	Use of medicines for the prevention of animal-plant diseases
Providing employment opportunities	Use of chemical fertilizers to increase production
Reducing environmental pollution	Low productivity
Not difficult to produce	Insufficient level of knowledge - overuse, lack of fertilizer production, etc.
Ensuring the production of healthy-quality (organic) products	Lack of necessary analysis of organic fertilizers, soil and products
Increased interest in organic products	Lack of accredited laboratories for analysis
Reduced fertilizer costs	High analysis fee
Increasing soil fertility	Deficiencies in separation and management of waste at source
Ensuring sustainable agriculture	Not using appropriate methods, times and quantities
High-priced markets	Lack of policy (incentives, support, etc.)
Increased government incentives	Lack of coordination between different institutions
Increased environmental awareness	Limited technical expertise
Opportunities	Threats
Increased interest in organic farming	External dependence in terms of technology, inputs and energy
Organic products are expensive	Global climate change
Continuously increasing demand for organic products	Environmental pollution
Having domestic and foreign markets	Increasing population and consumption
Increasing interest in healthy products due to diseases such as COVID, cancer	Attractiveness of chemical drugs/hormones and modern techniques
Increased environmental awareness	High global competition
Variability and increase of diseases	High incidence of disease
Protection of local crops	High cost of certification
Sustainable use of resources	
Strengthening rural communities	

Table 2. SWOT Analysis of Organic Fertilizer in MAP Production (Şimşek-Erşahin, 2007; Tashi and Wangchuk 2016; Mielayzs et al., 2016; Merdan, 2018; Srednicka-Tober et al.,, 2018; Yaldız et al., 2019)

Table 2 shows that the use of organic fertilizers in MAP production provides various advantages and opportunities. It can also be said that the use

of organic fertilizer positively affects environmental factors. In the SWOT analysis, “Opportunities” seems to be numerically superior. Although the strengths and weaknesses are almost equal, it is seen that it has many advantages in general.

SWOT analysis strategy is used to avoid being affected by negativities or to turn negativities into positives by using positive aspects (Ağır and Karatop, 2022). In other words, strengths and opportunities and weaknesses and threats are eliminated or reduced. Thus, strengths are strengthened and opportunities are increased. In SWOT analysis, more focus is placed on opportunities. The most emphasized weaknesses are the preference for chemical fertilizers to obtain high yields and the lack of education/awareness. The most emphasized opportunity is the consideration of human and environmental health. Merdan (2018) conducted a SWOT analysis of organic agriculture in Türkiye and stated that weaknesses are more predominant and new opportunities have emerged due to changes in organic agriculture. In the current study, it is possible to say that strengths and weaknesses have almost the same weight. The most important reason for this may be that only the use of organic fertilizer (not commercial organic fertilizer, but fertilizer produced from organic wastes) in MAP production was taken into consideration in this study. Some strategies were developed considering the SWOT analysis. The strategies are given in Table 3.



SO Strategies	ST Strategies
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Increase competitors to reduce the high cost of organic products and increase government incentives to do so ✓ The fact that organic fertilizer production is not difficult may increase the demand for organic products ✓ By using organic fertilizers, soil fertility can be improved and resources can be used sustainably 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Increased environmental awareness can reduce the negative effects of environmental pollution ✓ Increased interest in organic products may reduce the use of chemical pesticides and fertilizers ✓ High-priced markets may lead to prioritizing quality over efficiency
WO Strategies	WT Strategies
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Raising consumer awareness can further increase interest in healthy, quality products ✓ Increase competitors to reduce the high cost of organic products and increase government incentives to do so 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Low productivity can reduce willingness to produce quality products ✓ Use of pesticides to prevent animal and plant diseases can increase environmental pollution ✓ Global climate change could reduce organic production yields
SW Strategies	OT Strategies
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Increased environmental awareness can reduce the use of chemical fertilizers ✓ With increasing environmental awareness and reducing environmental pollution, wastes can be used as fertilizer ✓ Use chemical fertilizers to increase production and use different organic fertilizer alternatives to reduce the cost of fertilizers 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Crop yields can be increased by improving soil fertility ✓ Reduce the use of chemical drugs/hormones due to the variability and increase of diseases ✓ Increased environmental awareness can reduce the negative effects of environmental pollution.

Table 3. SWOT Strategies of Organic Fertilizer Use in MAP Production

If one aims to produce not only yield-based but also quality-based products, one should use organic fertilizers instead of chemical fertilizers. The government should further promote the use of organic agriculture (i.e. organic fertilizers) to improve human and environmental health and increase domestic/foreign markets. Producers should be trained for effective production and use of organic fertilizers.

Conclusion

Due to increasing health and environmental problems, it is of great importance to consume organic products. MAPs, which have been used for centuries, are especially consumed as health and food. Due to increasing health and environmental problems, interest in organic fertilizers is increasing day by day. For this reason, the use of organic fertilizers should be preferred instead of chemical fertilizers used to obtain more yield. The use of organic fertilizers in MAP production has several strengths and opportu-

nitities. Weaknesses and threats can be reduced with government incentives and education. The most notable weakness is that the use of organic fertilizer leads to low yields. On the other hand, organic fertilizer improves the physical, chemical and biological properties of the soil as well as producing healthy, high quality crops. Moreover, if organic fertilizer is produced from organic waste, it reduces environmental pollution and the amount of waste to be managed. In short, organic fertilizer should be preferred in MAP production for both human and environmental (especially soil) health.

References

- Abacıoğlu, E., Yatgın, S., Tokel, E., & Yücesoy, P. (2020) Vermikompostun (solucan gübresi) üretimi ve bitki beslemesindeki önemi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 3(1), 1-10.
- Aboutalebi, A., Jahromi, M. G. ve Farahi, M. H. (2013) Evaluation of growth and yield of organically-grown basil (*Ocimum basilicum* L.) in soilless culture. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11 (1), 299-301
- Ağır A. & Karatop, B. (2022). SWOT analysis of MOOCs in engineering education: A developing country perspective. *International Technology and Education Journal*, 6(1), 14-27.
- Anonymous1 (2010) https://samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Kitaplarimiz/organik_gubreler_ve_onemi.pdf, (Accessed date: 24.10.2023)
- Anonymous2 (2023) <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Haber/606/Gida-ArtikVeAtiklarindan-Kompost-Yapimi-Kilavuzu>, (Accessed date: 24.10.2023)
- Askary, M., Behdani, M. A., Mollaei, H. & Fallahi, H. R. (2023) Evaluation of the effects of organic and conventional cultivation practices on phytochemical and anti-cancer activities of saffron (*Crocus sativus*). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(1), 139-154.
- Bachman, G.R. & Metzger, J.D. (2008) Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology*, 99(8), 3155–3161.
- Farrokhi, E., Koocheki, A. R., Nassiri Mahallati, M. & Khademi, R. (2021) The effects of manure and biological and chemical fertilizers on yield and some morphological characteristics of aloe vera (*Aloe burbadensis* Miller.) in Bushehr province. *Journal of Agroecology*, 13(3), 391-407.
- Houben, G., Lenie, K., & Vanhoof, K. (1999). A knowledge-based SWOT-analysis system as an instrument for strategic planning in small and medium sized

- enterprises. *Decision Support Systems*, 26(2), 125-135.
- Karakurt, E. (2009) Toprak verimliliği yönünden yeşil gübreler ve gübreleme. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 18(1-2), 48-54.
- Karatop, B., (2015). Yerli otomotiv yatırımında odak strateji karar modeli: bulanık AHP uygulaması [Focus strategy decision model in domestic automotive investment: fuzzy AHP application]. İstanbul: Doğu Kütüphanesi.
- Kheirkhah, A. S., Esmailzadeh, A., & Ghazinoory, S. (2009). Developing strategies to reduce the risk of hazardous materials transportation in Iran using the method of fuzzy SWOT analysis. *Transport*, 24(4), 325-332.
- Kırıcı, S. (2015) Tıbbi ve aromatik bitkilerin gıda sanayisinde kullanımı. *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi (TÜRKTÖB)*, 15, 4-12.
- Kocabaş, I., Sönmez, İ., Kalkan, H., & Kaplan, M. (2007) Farklı organik gübrelerin adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.)'nın uçucu yağ oranı ve bitki besin maddeleri içeriğine etkileri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 20(1), 105-110.
- Merdan, K. (2022). Türkiye'de organik tarımın mevcut durumu ve gelişme potansiyelinin SWOT analiz yardımıyla değerlendirilmesi. *Social Sciences Studies Journal*, 4(14), 523-536.
- Mieldažys, R., Jotautienė, E., Pocius, A., & Jasinskis, A. (2016). Analysis of organic agricultural waste usage for fertilizer production. *Agronomy Research*, 14(1), 143-149.
- Rahimi, A., Gitari, H., Lyons, G., Heydarzadeh, S., Tunçtürk, M. & Tunçtürk, R. (2023) Effects of vermicompost, compost and animal manure on vegetative growth, physiological and antioxidant activity characteristics of *Thymus vulgaris* L. under water stress. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 33(1), 40-53.
- Şevkli, M., Öztekin, A., Uysal, O., Torlak, G., Türkyılmaz, A., & Delen, D. (2012). Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 14-24.
- Średnicka-Tober, D., Kraśniewska, K., Barański, M., Rembiałkowska, E., Hallmann, E., & Kazimierczak, R. (2018). SWOT analysis of the Polish organic food sector in the context of its impact on the environment and human health. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 63(3).
- Succop, C. E. & Newman, S. E. (2004) Organic fertilization of fresh market sweet basil in a greenhouse. *Hort Technology*, 14 (2), 235-239.
- Şimşek-Erşahin, Y. (2007) Vermikompost ürünlerinin eldesi ve tarımsal üretimde

- kullanım alternatifleri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(2), 99-107.
- Tashi, S., & Wangchuk, K. (2016). Prospects of organic farming in Bhutan: a SWOT analysis. *Advances in Agriculture*, 2016.
- TOB (2022) Tarım ve Orman Bakanlığı/Ministry of Agriculture and Forestry, <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Iyi-Tarim-uygumalari/Istatistikler>, (Accessed date: 24.10.2023)
- TUIK (2022) Turkish Statistical Institute, <https://www.tuik.gov.tr/>, (Accessed date: 24.10.2023)
- Yaldız, G., Çamlıca, M., & Özen, F. (2019) Organik gübrelemenin tıbbi bitkilerin verim ve kalite özelliklerine etkileri. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 1(3), 37-48.
- Yaldız, G., Çamlıca, M., Eratalar, S. A., & Kulak, M. (2017) Farklı dozda kıbele gübre uygulamasının fesleğen (*Ocimum basilicum L.*) verimine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(1), 363-369.
- Yüksek, T., Oğuztürk, T., & Çorbacı, Ö. L. (2020) Solucan gübresi ve torf uygulamalarının farklı saksı ortamında *Plectranthus amboinicus (Lour.) spreng* bitkisinin gelişimine etkisi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(4), 743-749.

Author Contributions

The entire study was performed by the corresponding author.

Conflict of Interest

No conflict of interest is reported by the author(s).

Funding

No funding support was received.

Ethical Statement

Ethics committee permission is not required for the study.



CİHANNÜMA
**TEKNOLOJİ, FEN
ve MÜHENDİSLİK
BİLİMLERİ**
AKADEMİ DERGİSİ