



KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Dergi Sahibi

Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ - (Kocaeli Üniversitesi)

Baş Editör

Prof. Dr. K. Süleyman YİĞİT - (Kocaeli Üniversitesi)

Yardımcı Editörler

Prof. Dr. Murat HOŞÖZ - (Kocaeli Üniversitesi)

Doç. Dr. H. Hakan GÜREL - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Mihriban CİVAN - (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Recep Kaya GÖKTAŞ- (Kocaeli Üniversitesi)

Prodüksiyon Editörü

Öğr. Gör. Yusuf YAĞCI - (Kocaeli Üniversitesi)

Editör Asistanları

Arş. Gör. Abdurrahman GÜN - (Kocaeli Üniversitesi)

Arş. Gör. Alp Eren ŞAHİN - (Kocaeli Üniversitesi)

Dergi Sekreteri

Durmuş İMAT - (Kocaeli Üniversitesi)

Danışma Kurulu

AYGÜN Halis, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERDEMLİ Yunus Emre, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERTUNÇ H. Metin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ORUÇ Bülent, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZDEMİR Engin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÖZTÜRK İlhan Tekin, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PEKEY Beyhan, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SARAÇ Halil İbrahim, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SINMAZÇELİK Tamer, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

UÇAR Mehmet, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

VELİ Elşen, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜRAY R. Taygun, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Ufuk, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KÜÇÜK Serdar, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

MAKARACI Murat, (Doç. Dr.) - (TÜBİTAK)

ÖZKOÇ Güralp, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

PINARBAŞI Seval, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SAYAR Ahmet, (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİBAR Ali, (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

Editörler Kurulu

AKIN Nilgün, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ALADAĞ Zerrin (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARIK Mehmet (Prof. Dr.) - (Özyeğin Üniversitesi)

ÇANAKCI Mustafa (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇOŞKUN Safa Bozkurt, (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

DEMİR Arif (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ENGİN Tahsin (Prof. Dr.) - (Sakarya Üniversitesi)

ERTUNÇ Hüseyin Metin (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GENÇ Nevim (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜNDOĞDU Özcan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KILIÇARSLAN Ali (Prof. Dr.) - (Hitit Üniversitesi, Makine Müh.)

SAYIN Cenk (Prof. Dr.) - (Marmara Üniversitesi, Otomotiv Müh.)

SÖZEN Adnan (Prof. Dr.) - (Gazi Üniversitesi)

ÖZER Nil Pembe (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

URHAN Oğuzhan (Prof. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARICI Müslüm (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ATAPEK Ş. Hakan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

BAYNAL Kasım (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇEPNİ Murat Selim (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇETKİN Vildan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ERGÜL Halim Aytekin (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

GÜLTEKİN Fatma (Doç. Dr.) - (Karadeniz Teknik Üniv., Jeoloji Müh.)

KANDEMİR İlyas (Doç. Dr.) - (Gebze Teknik Üniversitesi)

KARAKAŞ Ahmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

KASIM Rezzan (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

SERTÇELİK Fadime (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILDIZ Ali Bekir (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YILMAZ Mehmet (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

YİĞİT Halil (Doç. Dr.) - (Kocaeli Üniversitesi)

ARI Aysel Arzu (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇINAR Mehmet Aytaç (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

ÇOBAN Onur (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

EREN Canan Dilek (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

KİŞHALI Emre (Dr. Öğr. Üyesi) - (Kocaeli Üniversitesi)

İletişim

Kocaeli Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü Umuttepe Yerleşkesi 41001, Kocaeli/TÜRKİYE

Tel: +090 (262) 303 30 32 Fax: +090 (262) 303 30 33 E-mail: fbe@kocaeli.edu.tr



YAYIN VE DANIŞMA KURULLARI I

İÇİNDEKİLER II

Arzu KANCA

Pamuk Atığı, Fındık Kabuğu ve Ceviz Kabuğu'nun Piroliz ve Oksidasyon Davranışlarının Kıyaslanması 43-54
(*Araştırma Makalesi*)

Ahmet SERT , Kemal BEYEN

Sistem Tanılama Algoritmaları Kullanılarak Yapı Dinamik Karakteristiğinin Tahmini 55-63
(*Araştırma Makalesi*)

Ayşenur KUŞU , Kemal BEYEN

Aynı Koşullar Altında Tasarlanan 12 Katlı Çelik ve Betonarme Bir Yapının TBDY 2018 Esaslarına Göre Karşılaştırılması 64-73
(*Araştırma Makalesi*)

Kübra SARIKAYA

JIT (Just-In-Time) Yaklaşımından JIS (Just-In-Sequence) Yaklaşımına Geçiş ve JIS'in Otomobil Endüstrisinde Modellenmesi 74-82
(*Araştırma Makalesi*)

Serdar TANTAN , Rezzan KASIM , Mehmet Ufuk KASIM

Soğanlı Süs Bitkilerinden Glayör, Frezya ve Zambakta Dinlenme ve Çiçeklenme 83-93
(*Derleme Makalesi*)

Merve TİRYAKİOL , Ersin KAYAHAN

Altın Nanoparçacıkların Gözenekli Silisyumun Optik Özellikleri Üzerine Etkileri 94-97
(*Araştırma Makalesi*)

Seray BOZKURT , Bülent ORUÇ

Yapılarda Yer Radarı Uygulamaları ve Ayrık Dalgacık Dönüşümleriyle Yorumlama 98-104
(*Araştırma Makalesi*)



Pamuk Atığı, Fındık Kabuğu ve Ceviz Kabuğu'nun Piroliz ve Oksidasyon Davranışlarının Kıyaslanması

Comparison of Pyrolysis and Oxidation Behaviors of Cotton Waste, Hazelnut Shell, and Walnut Shell

Arzu KANCA^{1,*}

¹ Kimya Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, *Orcid:* 0000-0001-9110-2691

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 04/02/2019

Kabul Tarihi : 01/04/2019

Anahtar Kelimeler

Biyokütle
Oksidasyon
Piroliz
TGA-FTIR

Özet

Türkiye, bir tarım ülkesi olması nedeniyle önemli bir biyokütle potansiyeline sahiptir. Fakat sahip olunan biyokütle kaynaklarının enerji üretmek amacıyla kullanımı yaygın değildir. Bu çalışma ile amaçlanan, enerji kaynağı olarak kullanılacak üç tür biyokütlenin (fındık kabuğu, ceviz kabuğu ve pamuk bitkisi atıklarının) enerji değerlerinin piroliz ve oksidasyon prosesleriyle belirlenmesidir. Piroliz ve oksidasyon deneyleri öncesinde kullanılacak biyokütlenin nem, uçucu madde ve kül içerikleri proksimet analiz ile, karbon ve kükürt içerikleri ise C-S analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Biyokütlenin ısı değerlerini belirlerken bomb kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Piroliz ve oksidasyon deneyleri ise laboratuvar ölçeği temsil etmesi sebebiyle TGA analizörü ile takip edilmiştir. Piroliz prosesi azot gazı akışında ısıtma ile sağlanırken, oksidasyon prosesi için kuru hava kullanılmıştır. Oluşacak gazların analizini yapabilmek için FTIR entegreli bir TGA deney sistemi tercih edilmiştir. Bu sayede hem biyokütlenin termal davranışları hem de farklı iki proses esnasında açığa çıkan gazların analizi mümkün olmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma ile Türkiye'nin üç önemli biyokütle kaynağının enerji potansiyeli, termal davranışları ve neden oldukları emisyon gazları belirlenmiş olacaktır.

Research Paper

Received Date : 04/02/2019

Accepted Date : 01/04/2019

Keywords

Biomass
Oxidation
Pyrolysis
TGA-FTIR

Abstract

Since Turkey is an agricultural country, it has important biomass potential. However, it is not common the utilization of biomass resources for the energy production. This study aims to determine the energy potential of three types of biomasses which are walnut shell, hazelnut shell and cotton waste by using the pyrolysis and combustion processes. Before the pyrolysis and oxidation experiments, volatile matter, moisture, and ash composition of biomasses were determined by proximate analysis, while C-S analyser was used to define their carbon and sulfur compositions. Since thermal gravimetric analysis (TGA) represents the lab-scale, semi-batch pyrolysis and oxidation experiments were followed by TGA. Pyrolysis experiments were conducted under N₂ flow, while dry air was used for the oxidation experiments. In order to analyze the gaseous products, Fourier Transform Infrared Spectroscopy combined TGA system was selected. Thus, both thermal behavior of biomasses and analysis of gases released during two different processes have been possible. As a consequence, the findings provide the fundamental information on the energy potentials of three important biomass resources of Turkey, their thermal behaviors under pyrolysis and oxidation conditions, and their emission gases during the processes.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): akanca@atauni.edu.tr



1. Giriş

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynağı tüketimi %7,5 olarak rapor edilmiştir. Bu oranın ise %67,4'ünü biyokütle ve hayvansal atıklar oluşturmaktadır [1-3]. 2013 yılı dünya enerji raporuna göre Türkiye 32 milyon ton petrole eşdeğer (Mtoe) biyokütle potansiyeline sahiptir ve bu potansiyelin 17 milyon ton petrol eşdeğeri biyokütle, enerji ihtiyaçları için kullanılmaktadır. Bu, %50'yi aşkın kullanım oranı Türkiye'de biyokütle kullanımının önemini açıkça gözler önüne sermektedir [4]. Biyokütle kaynaklarının bir tarım ülkesi olan Türkiye'de bolca bulunması, bu kaynakların ucuzluğu ve onların sürdürülebilirlik özellikleri, enerji üretimi amacıyla biyokütle kullanımını oldukça çekici hale getirmektedir. Bir diğer önemli üstünlükleri ise biyokütlelerin büyük çoğunluğunun SO₂ ve NO_x emisyonlarına neden olacak içeriğe sahip olmayışlarıdır. İlaveten, onların yanma sırasında açığa çıkardıkları CO₂ gazının, onların yaşamları boyunca yaptıkları fotosentez ile nötrlendiğini ve bu sebeple atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunda bir artışa neden olmadıkları kabul edilebilir [5-8]. Biyokütlelerin sınıflandırılmasına yönelik yapılan bir çalışmada Voivontas ve grubu, biyokütle kaynaklarını dört grupta sınıflandırmaktadır. Bu gruplar; kereste endüstrisi tarafından üretilen odun temelli kaynaklar, tarımsal endüstriler ve çiftlikler tarafından üretilen bitkisel ve hayvansal atıklar ve evsel atıklardır [9].

Bahsedilen atıklar içerisinde Türkiye'de bitkisel atıklar kategorisi altında sunulabilecek en önemli kaynak fındık ve ceviz kabuğudur. Fındık kabuğu, yaklaşık 3,5 x 10⁵ ton yıllık üretim miktarı ile Türkiye'de potansiyel önemi olan bir biyokütle kaynağıdır. Fındık kabuklarının alternatif kullanımları yoktur ve büyük depolama hacimleri nedeniyle sürekli biriken katı atık durumundadırlar. Oysa fındık kabuğunun 19,2 MJ/kg olan ısı değeri saatte 1,9 x 10⁶ kW enerjiye karşılık gelmektedir. Bu durum fındık kabuğunun bir enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğinin açık bir göstergesidir [10, 11]. Türkiye için bir başka önemli tarım atığı olan ceviz kabuğunun sahip olduğu ısı değeri 13,8-18,4 MJ/kg olarak literatürde rapor edilmiştir. Ceviz kabuğunun fındık kabuğuna benzer şekilde evsel ısınmalar amacıyla yakılması dışında başka bir kullanım alanı yoktur [12, 13]. Fındık ve ceviz kabuğuna ilaveten bir diğer önemli biyokütle atığı ise pamuk bitkisi sayılabilir. Pamuk, tekstil endüstrisinde kullanılan en önemli tarımsal ürün olup, Türkiye dünyadaki toplam pamuk üretiminin yaklaşık %3'ünü karşılamaktadır [14, 15]. Pamuğun Türkiye'de yer alan tarımsal atıklar içerisinde en büyük ölçekli atıklardan biri sayılmasına rağmen, pamuk atıklarının bir enerji kaynağı olarak kullanımı son derece kısıtlıdır. Oysa pamuk sapı ve pamuk kozası içerdikleri

yüksek selüloz içeriğinden dolayı yüksek bir enerji potansiyeline sahiptir [16, 17]. Sonuç olarak enerji potansiyeli açısından düşünüldüğünde hem pamuk atıkları hem de fındık ve ceviz kabuklarının piroliz ve oksidasyon şartlarında termal bozunma davranışlarının incelenmesi oldukça önemlidir.

Termal gravimetrik analiz, yakıtların termokimyasal reaktivitesini takip etmek için geleneksel bir yöntemdir. Ayrıca, Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisinin TGA ile kombinasyonu, termokimyasal dönüşüm sırasında gaz fazındaki ürünlerin analizini mümkün kılar. TGA-FTIR, biyokütle içerisinde bulunan ve termal süreçte ayrılan fonksiyonel grupların tespiti için kullanılabilir. TGA-FTIR tarafından inert ve hava atmosferleri altında test edilen termal ayrışma, sırasıyla piroliz ve yanma teknolojilerinin temel olarak anlaşılmasını sağlar. Zaman ve sıcaklığa dayalı TGA bulguları aynı zamanda ayrışma kinetiğini belirlemek için de kullanılmaktadır [18-24]. Piroliz, biyokütleyi katı (kok), sıvı (biyo-yag) ve yüksek sıcaklıklarda bulunan gazlara dönüştürmek için oksijenin yokluğunda gerçekleşen bir termal ayrışma işlemidir. Biyokütlenin termal ayrışması, sıcaklık artışına göre hemiselüloz, selüloz ve lignin yıkımı düzeninde gerçekleşir. Uçucuların uzaklaştırılmasından sonra kalan kısım kok ve külden oluşurken, kül biyokütlenin tamamen yandıktan sonra kalan kısmıdır [25-27]. Biyokütlenin pirolizi için temelde üç aşama vardır. İlk aşama, piroliz öncesi olup 120-200°C arasında nispeten düşük bir kütle kaybı ile gerçekleşir. Bu aşamada, bağ kırılmaları, serbest radikallerin ortaya çıkışı ve su, CO ve CO₂ çıkışıyla birlikte karbonil grupların oluşumu gibi yapıda değişiklikler olur. İkinci aşama, başlangıçta beslenen biyokütleden önemli bir ağırlık kaybı eşliğinde katı ayrışmanın meydana geldiği ana piroliz işlemidir. Son aşama, C-H ve C-O bağlarının daha fazla bölünmesinden kaynaklanan sürekli gaz çıkışıdır. Oksidasyon (yanma) ise, biyokütle dönüşümü için en yaygın kullanılan prosestir ve biyoenerji üretimine %97'nin üzerinde katkıda bulunmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde biyokütlenin günlük yaşamda ısıtma ve pişirme gibi işlerde kullanımı yaygındır [28]. Yüksek nem içeriği biyokütleler için en önemli dezavantajlardan biridir ve yanma esnasında açığa çıkan enerjinin bir kısmı endotermik olan suyun buharlaşması için kullanılacaktır.

Türkiye'de biyokütle kullanımına yönelik sunulan bu kısa özet çerçevesinde bu çalışmada gerçekleştirilmesi planlanan, Türkiye için önemli biyokütle kaynağı olan pamuk bitkisi, fındık kabuğu ve ceviz kabuğu atıkları için bir enerji profili oluşturmaktır. Ayrıca pamuk atıklarının, kullanımı nispeten daha yaygın olan fındık ve ceviz kabuğu gibi biyokütle kaynakları ile kıyaslanabilirliklerini ortaya koyarak endüstriyel uygulamalar için veri toplamak bu çalışmanın en önemli öğrenim çıktısı olacaktır.

2. Materyal ve Metot

Hasat sonrası pamuk bitkisinin kalan kısımları pamuk sapları, yaprakları ve kabukları pamuk atığı (PA) olarak tanımlanmış ve Adıyaman yöresinden gelmiştir. Ceviz kabuğu (CK) ve fındık kabuğu (FK) numuneleri ise tüketim amacıyla yaklaşık 5 kg satın alınan kabuklu yemişlerden temin edilmiştir. Atıklar ve kabuklar kırılıp öğütülerek $>100\mu\text{m}$ partikül boyutunda numuneler hazırlanmıştır. Tüm numuneler açık havada tutulduğundan, havada kurutulmuş olarak (air dried) temel alınmıştır. Proksimet analiz ile kül, nem, sabit karbon, uçucu madde analizi; Eltra markalı karbon ve kükürt analizörü ile de numunelerin C ve S bileşimleri belirlenmiştir. Numunelerin ısıl değerleri için IKA-C200 markalı bomb kalorimetre cihazı kullanılmıştır.

Pamuk atığı (PA), Ceviz kabuğu (CK) ve fındık kabuğu (FK) numunelerinin piroliz ve oksidasyon (yanma) davranışları Perkin Elmer spectrum two TGA analizörü ile test edilmiştir. TGA analizleri $20^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında 30°C - 1000°C sıcaklık aralığında ve piroliz için $60\text{ cc}/\text{dk}$ N_2 gazı akış hızında gerçekleştirilmiştir. Oksidasyon deneyleri ise aynı ısıtma hızı ve sıcaklık aralığında ve $100\text{ cc}/\text{dk}$ hava akışında yapılmıştır. Termal analizlerin sonuçları aynı zamanda proksimet analiz sonuçlarını desteklemek için de kullanılmıştır. Katı numunede meydana gelen sıcaklığa bağlı kütle değişiminin ve proses sırasında açığa çıkan gazların eş zamanlı analizini gerçekleştirmek için TGA sistemine kombine edilmiş Perkin Elmer STA 8000 FTIR spektrometresi kullanılmıştır. Metan (CH_4), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), kükürt dioksit (SO_2) ve hidrojen sülfür (H_2S) proses esnasında takip edilecek gazlar olarak belirlenmiştir. Laboratuvar ölçeğinde analiz

yapmayı mümkün kılan bu sistem Bayburt Üniversitesi merkez laboratuvarından hizmet alımı ile gerçekleştirilmiş, çıkan gazların analizi ise 30°C başlangıç sıcaklığı olmak üzere 50°C sıcaklık aralığında 930°C maksimum sıcaklığa kadar mümkün olmuştur. Bu sistem ile CH_4 , CO_2 , CO , H_2S ve SO_2 gazlarının kalitatif analizi hem piroliz hem de oksidasyon şartlarında ve değişen sıcaklıklara bağlı olarak takip edilmiştir. Bu gazların maksimum absorpsiyon değerleri sıcaklığa karşı grafik edilmiştir. Bu gazlara ait spesifik IR bantları CH_4 için $\sim 3000\text{ cm}^{-1}$, CO için $\sim 2200\text{ cm}^{-1}$, CO_2 için $\sim 2300\text{ cm}^{-1}$, H_2S için $\sim 1340\text{ cm}^{-1}$ ve SO_2 için $\sim 1380\text{ cm}^{-1}$ olarak tanımlanmıştır [29, 30].

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Proksimet (Yaklaşık) Analiz

Yaklaşık analiz olarak bilinen bu analiz yöntemine göre üç farklı biyokütle türü için nem, uçucu madde, kül tayini yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Örneklerin sabit karbon içeriği ise toplam bileşimin 100'den çıkarılması ile hesaplanmıştır. Tablo 1'de sunulan verilere göre, pamuk atığının nem ve uçucu madde bileşeni ceviz ve fındık kabuğundan daha düşükken, kül ve sabit karbon bileşimi daha yüksektir. Ceviz kabuğu için kül içeriğinin en düşük ($\%0,56$) olması buna karşın en yüksek uçucu bileşimine sahip olması piroliz ve yanma işlemlerinden sonra kalan katı atık miktarının minimum olduğunun göstergesidir.

Kabuklu biyokütellerin nem ve uçucu madde içerikleri birbirlerine yakın, pamuk atığının nem ve uçucu madde bileşimi kabuklu biyokütellerden farklı görünmektedir.

Tablo 1. Proksimet analiz sonuçları.

Proksimet Analiz			
	Pamuk atığı (PA)	Ceviz kabuğu (CK)	Fındık kabuğu (FK)
Nem (%)	6,48	9,76	10,09
Uçucu madde (%)	69,56	83,06	78,28
Kül (%)	5,93	0,56	1,16
Sabit karbon (%)	18,03	6,62	10,47

3.2. Elementel Analiz

Bu analiz için ELTRA markalı C&S analizörü kullanılmış, biyokütellerin C ve S bileşimleri Tablo 2'de sunulmuştur. Tabloya göre, her üç biyokütlenin C bileşimi $\%38$ 'in üzerinde ve birbirine yakındır. Öte yandan S içeriği en fazla olan biyokütle $\%0,25$ ile pamuk atığıdır. Kabuklu biyokütellerin S içeriği ise neredeyse aynı değerde olup, $\%0,020$ civarındadır.

Tablo 2. Biyokütellerin C ve S kompozisyonu.

	PA	CK	FK
C (%)	40,64	38,13	38,48
S (%)	0,25	0,020	0,022

3.3. Isıl Değer Tayini

PA, CK ve FK numunelerinin ısıl değerlerini belirlemek için IKA bomb kalorimetre cihazı kullanılmış,

analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tabloya göre ısı değeri en fazla olan biyokütle 4386 kcal/kg ile fındık kabuğudur. Fındık kabuğunu 4268,9 kcal/kg ile ceviz kabuğu ve 3744,5 kcal/kg ile pamuk atığı takip etmektedir.

Tablo 3. Biyokütlelerin ısı değerleri.

Isıl değer (kcal/kg)	PA	CK	FK
	3744,5	4268,9	4386,0

Genel özellikleri üç ana başlıkla özetlenen biyokütlelerin piroliz ve yanma testleri yarı kesikli reaktör sistemini temsil etmesi nedeniyle FTIR entegreli TGA sisteminde gerçekleştirilmiştir. Takip eden bölümde piroliz ve yanma deneyleri sonuçları termal bozunma davranışları ve gaz emisyonu açısından tartışılacaktır.

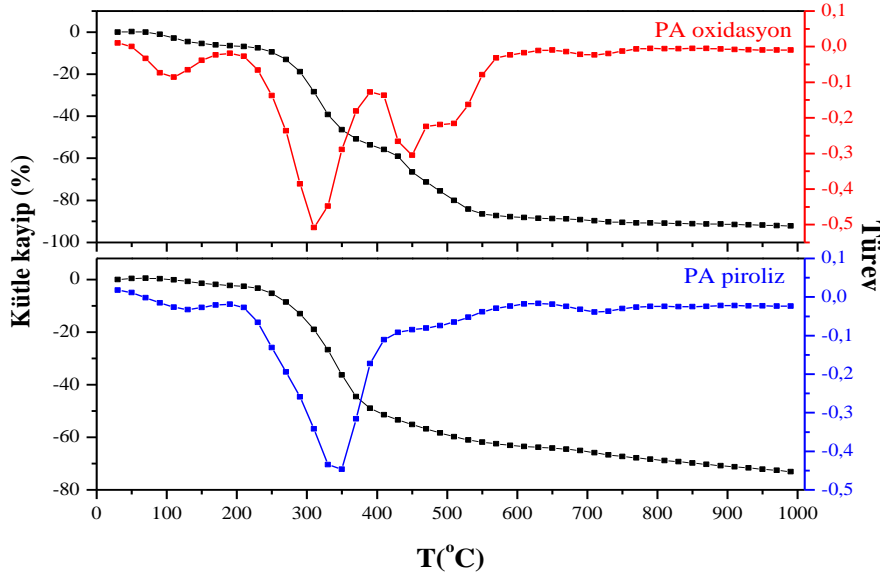
3.4. Termal Gravimetrik Analiz (TGA)

3.4.1. Pamuk Atığı Pirolizi ve Oksidasyonu

Pamuk atığının piroliz ve oksidasyon sırasında elde edilen termogram ve bu termogramlara ait diferansiyel (türev) verileri Şekil 1'de sunulmaktadır. Şekil 1'de siyah eğriler termogramları gösterirken kırmızı ve mavi eğriler, sırasıyla oksidasyon ve piroliz davranışlarının türevlerini

temsil etmektedir [31]. Bu gösterim diğer iki numune için de aynı şekilde kullanılmıştır. Termal bozunmaya ait sıcaklık piklerini, türev eğrilerini kullanarak belirlemek mümkündür. Bu durumda, pamuk atığı için maksimum bozunma sıcaklığı inert ortamda yaklaşık 350°C iken hava ortamında yaklaşık 320°C olarak görünmektedir. Her iki termogramda 100°C'de gözlenen ilk pik oluşumu pamuk atığının nem kaybını temsil etmektedir. 300°C civarında başlayan ikinci pik oluşumu ise pamuk atığı uçucularının termal bozunmasını göstermektedir. Bu bozunma piroliz kuşullarında tek aşamalı iken, oksidasyon koşullarında yaklaşık 450°C'de elde edilen ikinci pik, oksidasyon sırasında 2 farklı bozunma süreci olduğunu ortaya koymaktadır [31].

Ligno-selülozik malzemelerin pirolizi üç aşamaya ayrılabilir. İlk aşama (I) su içeriği ve ekstraktlar nedeniyle meydana gelen ağırlık kaybını temsil eder. İkinci aşama (II) ise 200°C ve 500°C arasındaki hızlı termal ayrışma olup selüloz, hemiselüloz ve ligninin bir kısmının pirolizine karşılık gelir. Ligninin pirolizi ise esas olarak 400°C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşir [18, 21, 32, 33]. Bu bilgiden yola çıkarak ligninin piroliz esnasında bozunmadığını fakat oksidasyon ortamında yandığını söylemek mümkündür.



Şekil 1. Piroliz ve oksidasyon koşullarında pamuk atığı (PA) TGA termogramı ve türevi.

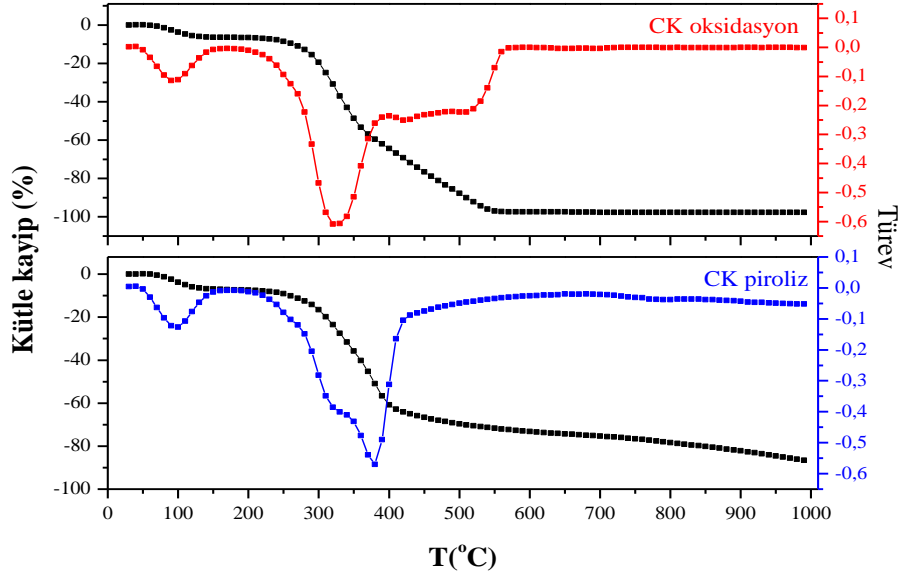
3.4.2. Ceviz Kabuğu Pirolizi ve Oksidasyonu

Ceviz kabuğu (CK) için yapılan piroliz ve yanma deneyleri sonuçları Şekil 2'de verilmektedir. Her iki termogramda 100°C'de gözlenen ilk pik oluşumu PA için olduğu gibi CK için de nem kaybını temsil etmektedir. PA'dan farklı olarak maksimum kütle kaybı piroliz

ortamında 380°C civarında gözlenmektedir. Bu durum CK

uçucularının termal bozunmasının daha yüksek sıcaklıklar gerektirdiğini göstermektedir. Yanma deneyinde ise maksimum kütle kaybının ardından gözlenen platoyu ikinci bir pik oluşumu olarak yorumlamak doğru olmayabilir. Yanma süreci CK için ~320°C'de başlamış ve

~520°C'de tamamlanmış olarak görünmektedir.

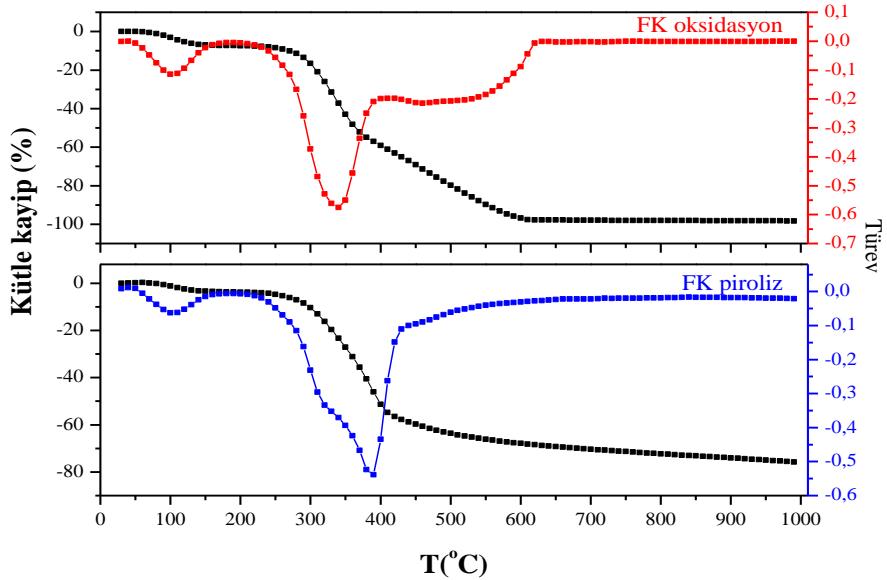


Şekil 2. Piroliz ve oksidasyon koşullarında ceviz kabuğu (CK) TGA termogramı ve türevi.

3.4.3. Fındık Kabuğu Pirolizi ve Oksidasyonu

Şekil 3'de fındık kabuğu (FK) için yapılan piroliz ve yanma deneyleri sonuçları gösterilmektedir. Her iki termogramda 100°C'de gözlenen ilk pik oluşumu nem kaybını temsil ederken maksimum kütle kaybı piroliz

ortamında 400°C civarında gözlenmektedir. Bu durum FK uçucularının termal bozunmasının CK uçucularının bozunmasına benzediği şeklinde yorumlanabilir. Yanma deneyinde ise maksimum kütle kaybının ardından gözlenen pik oldukça geniş olup, yanma sürecinin ~620°C'de tamamlanmasıyla son bulmaktadır.



Şekil 3. Piroliz ve oksidasyon koşullarında fındık kabuğu (FK) TGA termogramı ve türevi.

Yanma ve piroliz deney sonuçları, kullanılan üç tür biyokütle için mukayese edildiğinde pamuk atığının termal davranışlarının ceviz ve fındık kabuklarının termal bozunma davranışlarından oldukça farklı olduğu

görülmektedir. Maksimum kütle kaybı ve pik oluşum sıcaklıkları Tablo 4'te her üç yakıt için piroliz ve yanma koşullarında özetlenmiştir. Bu üç biyokütlenin piroliz davranışları Şekil 4'te ve oksidasyon davranışları ise Şekil

5'te gösterilmiştir. Pamuk atığı, ceviz ve fındık kabuğu yakıtlarının mukayeselerini mümkün kılan Tablo 4, Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulan sonuçları maddeler halinde özetlersek;

i. PA, CK ve FK'nun piroliz deneyleri sonucunda kaybolan kütleleri bu üç biyokütlenin uçucu madde bileşimlerinin (%73-%76,5) birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

ii. Oksidasyon deneyleri sonucu elde edilen maksimum kütle kaybı değerleri ise kül içeriği en fazla olan biyokütlenin pamuk atığı olduğunun göstergesidir. CK ve FK'nın kül içeriği neredeyse aynıdır.

iii. Pamuk atığı için kaydedilen en düşük piroliz sıcaklığı 350°C, PA'nın en büyük uçucu reaktivitesini göstermektedir.

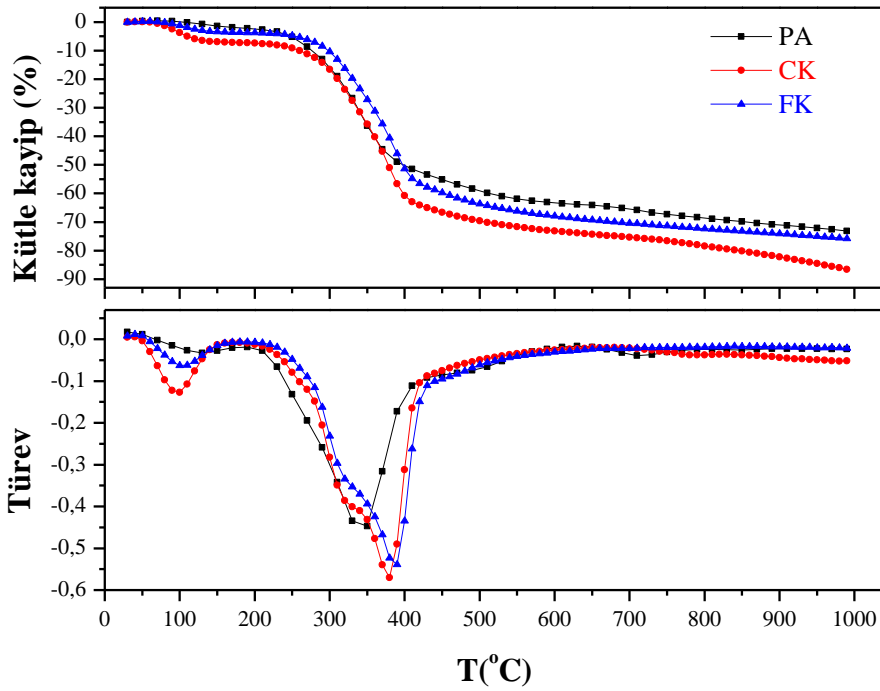
iv. Maksimum kütle kaybı sıcaklığı ~300°C olan PA'nın yine en yüksek yanma performansına sahip olduğu söylenebilir.

v. Pamuk atığı ve ceviz ve fındık kabuklarının kimyasal bileşenleri farklıdır.

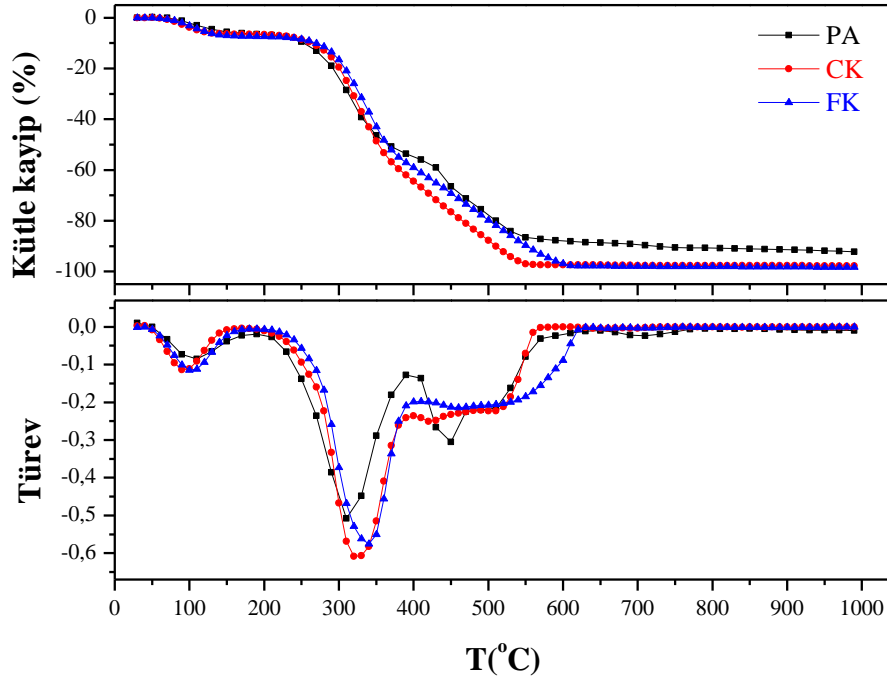
vi. Yüksek kül içeriği pamuk atığı içerisindeki inorganik bileşiminin nispeten daha fazla olduğunun göstergesi olup, bu durum inorganik bileşenlerin yanma ve piroliz süreçlerinde katalitik etkilerini akla getirmektedir.

Tablo 4. PA, CK ve FK'nın Piroliz ve oksidasyon davranışları.

Yakıt	Piroliz Max. kütle kaybı (%)	Piroliz T_{pik} (°C)	Oksidasyon Max. kütle kaybı (%)	Oksidasyon T_{pik} (°C)
PA	73,1	350,0	92,2	312,2
CK	76,5	729,5	97,3	618,8
FK	74,1	751,3	97,2	648,6



Şekil 4. PA, CK ve FK'nın piroliz koşullarında TGA termogramı ve türevleri.



Şekil 5. PA, CK ve FK'nın oksidasyon koşullarında TGA termogramı ve türevleri.

3.5. FTIR

Bölüm 3'te anlatıldığı gibi CH_4 , CO_2 , CO , H_2S ve SO_2 gazlarının kalitatif analizi hem piroliz hem de oksidasyon şartlarında ve değişen sıcaklıklara bağlı olarak takip edilmiştir. Bu gazların Infrared bölgesinde verdiği maksimum absorptans değerleri sıcaklığa karşı grafik edilmiştir. Bu gazlara ait spesifik IR bantları CH_4 için $\sim 3000 \text{ cm}^{-1}$, CO için $\sim 2200 \text{ cm}^{-1}$, CO_2 için $\sim 2300 \text{ cm}^{-1}$, olarak tanımlanmıştır [29, 30, 34]. Ayrıca kükürt içeren H_2S ve SO_2 için absorptans değerleri sırasıyla $\sim 1340 \text{ cm}^{-1}$ ve $\sim 1380 \text{ cm}^{-1}$ dir [29]. Bu bölümde ise herbir gaz türünün emisyonu üç yakıtımız için birlikte sunulacaktır. Pamuk atığına ait gaz emisyon davranışları bir başka çalışmada farklı bir konu için de sunulmuştur [31].

3.5.1. Piroliz ve Oksidasyon Sırasında Metan Emisyonu

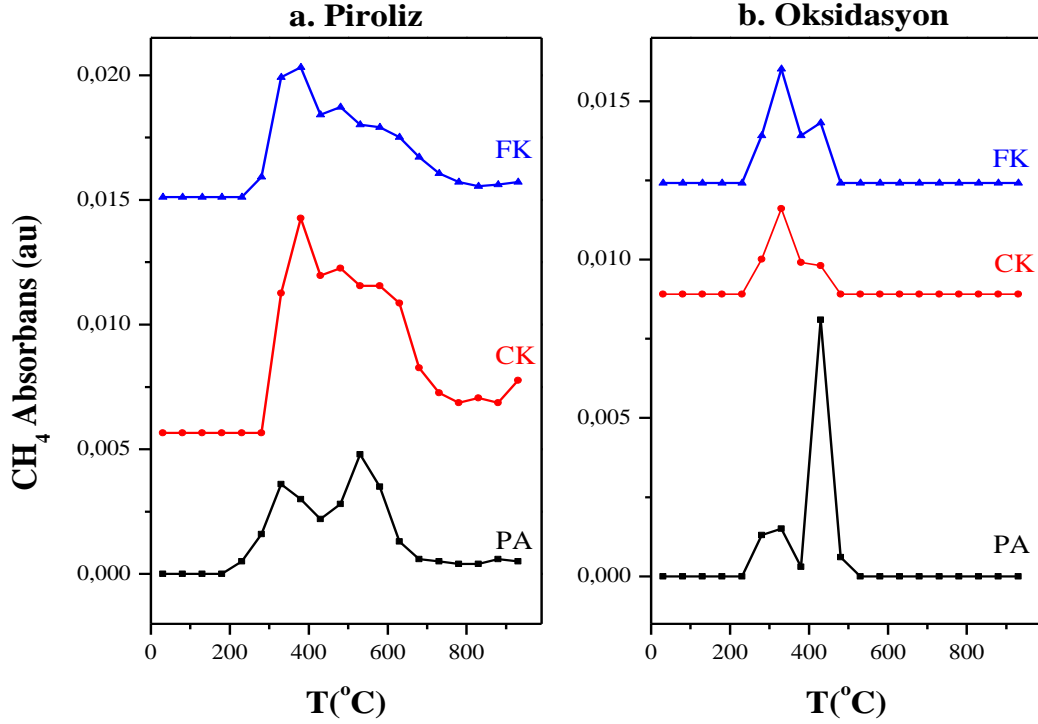
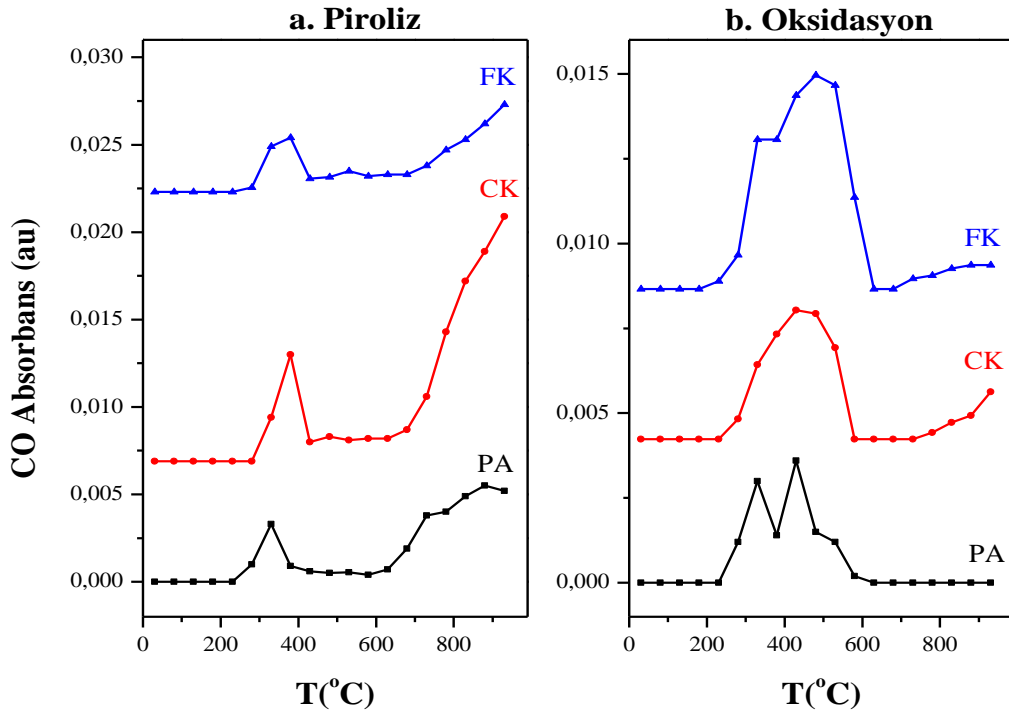
CH_4 oluşumu piroliz koşullarında PA için 200°C 'de, CK ve FK için yaklaşık 240°C 'de başlamaktadır. Şekil 6a'da görüldüğü gibi CH_4 yoğunluğunun maksimum olduğu sıcaklık, kabuklar için 400°C iken PA için 550°C 'dir. CH_4 oluşumu oksidasyon koşullarında Şekil 6b'de gösterilmektedir. Şekil 6a'ya göre, PA için piroliz koşullarında CH_4 oluşumu 200°C - 700°C 'de aralıktadır. CK ve FK için ise CH_4 oluşumu 200°C 'den daha yüksek sıcaklıklarda başlarken $\sim 400^\circ\text{C}$ 'de maksimuma ulaşmakta ve 700°C 'den daha yüksek sıcaklıklarda

tamamlanmaktadır.

Şekil 6b'den de görüleceği üzere O_2 varlığı düşük sıcaklıkta CH_4 oluşumunu önemli ölçüde etkilemezken, yüksek sıcaklıkta O_2 varlığı CH_4 oksidasyonuna sebep olacaktır. Bu durum yüksek sıcaklıklarda CO_2 oluşumunu arttıracaktır. Her üç biyokütle içinde oksidasyon koşullarında $\sim 220^\circ\text{C}$ 'de başlayan CH_4 oluşumu $\sim 500^\circ\text{C}$ 'de tamamlanmaktadır. Kabuklu biyokütlerde CH_4 oluşumu için maksimum sıcaklık $\sim 350^\circ\text{C}$ iken kabuklulardan farklı olarak PA için CH_4 oluşumunun maksimum olduğu sıcaklık $\sim 450^\circ\text{C}$ 'dir.

3.5.2. Piroliz ve Oksidasyon Sırasında CO Emisyonu

CO oluşumunun sıcaklıkla değişimi her üç biyokütle için Şekil 7a'da piroliz ve Şekil 7b'de oksidasyon koşullarında gösterilmektedir. Piroliz koşullarında (Şekil 7a) gözlenen ilk pik oluşumu yaklaşık $\sim 300^\circ\text{C}$ 'dir. Bu pik biyokütle uçucularının CO oluşumuyla sonuçlanan ilk termal bozunma bölgesi olarak yorumlanabilir. CO oluşumu piroliz koşullarında $\sim 600^\circ\text{C}$ 'den daha yüksek sıcaklıklarda tekrar başlıyor ve çalışma sıcaklık aralığında oluşum tamamlanmıyor. Oksidasyon açısından bakıldığında ise Şekil 7b'den de görüleceği gibi 220 - 600°C sıcaklık aralığında CO oluşumu tamamlanmaktadır. $\sim 600^\circ\text{C}$ 'den daha yüksek sıcaklıklar ise yine kısmi oksidasyonun yerini tam yanmaya bıraktığı sıcaklıklar olarak düşünülebilir.

Şekil 6. CH₄ oluşumu a. Piroliz, b. Oksidasyon.

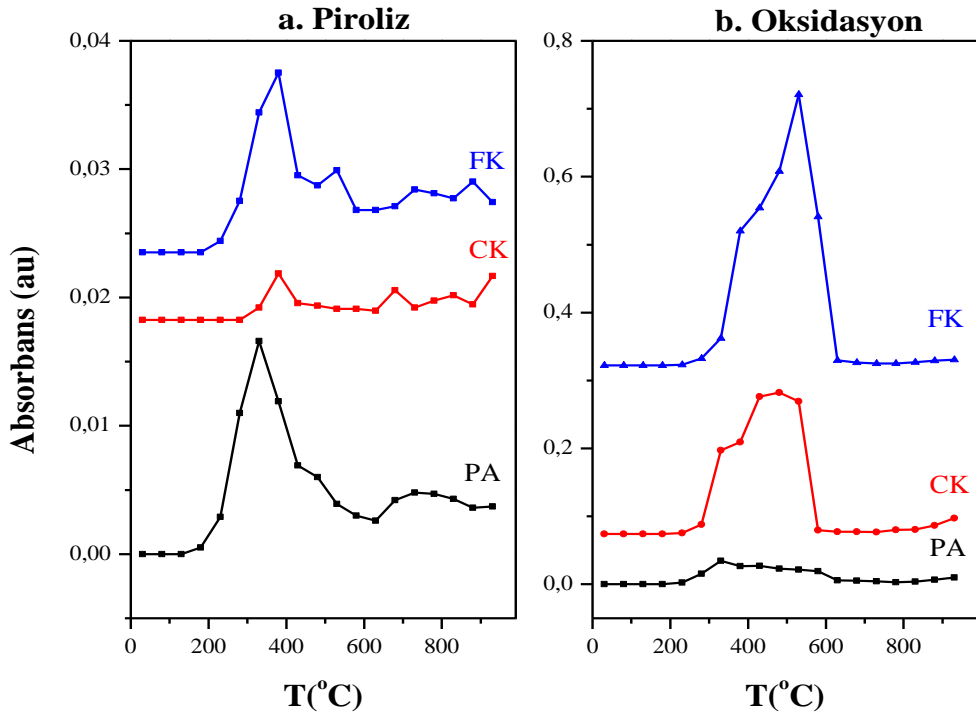
Şekil 7. CO oluşumu a. Piroliz, b. Oksidasyon.

3.5.3. Piroliz ve Oksidasyon Sırasında CO₂ Emisyonu

Temelde bir yanma ürünü olarak düşünülen CO₂, piroliz koşullarında termal bozunma ürünü olarak oluşmaktadır. Şekil 8a'da piroliz koşullarında CO₂ oluşumu PA ve FK için ~200°C'de ve CK için ~280°C'de başlamaktadır. CO₂ için maksimum absorbans değerleri ise

PA için ~300°C, FK ve CK için ~350°C'dir. CK için elde edilen CO₂ oluşumu diğer biyokütle numunelerine göre zayıf görünmektedir. Pirolize ilaveten oksidasyon davranışlarına bakıldığında, Şekil 8b CO₂ oluşum piklerinin PA için oldukça zayıf olmakla birlikte 250-620°C sıcaklık aralığında tamamlandığını göstermektedir. ~300-600°C sıcaklık aralığında ise kabuklu biyoküteller için CO₂ oluşumu gözlenmekte ve ~450°C'de CO₂

oluşumu maksimuma ulaşmaktadır.

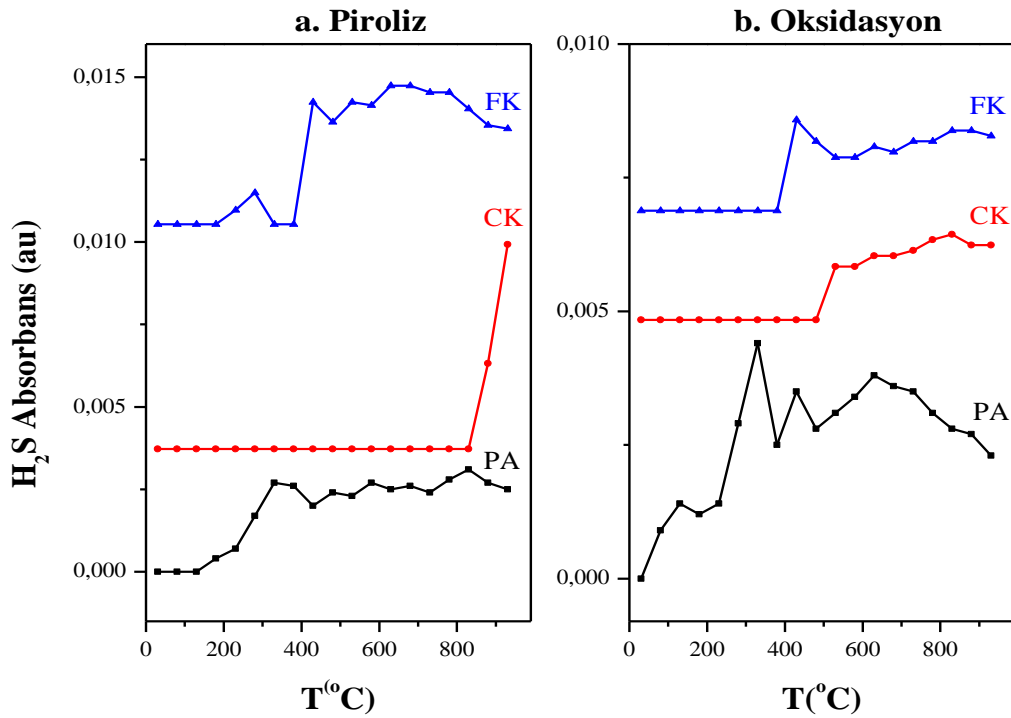


Şekil 8. CO₂ oluşumu a. Piroliz, b. Oksidasyon.

3.5.4. Piroliz ve Oksidasyon Sırasında H₂S Emisyonu

Çalışmamızın bu kısmında, biyokütlelerin yakıt olarak kullanımının en önemli faydalarından biri olarak

değerlendirilen kükürt emisyonu azalması H₂S ve SO₂ gazlarının piroliz ve oksidasyon sırasında oluşum profilleriyle takip edilmeye çalışılmıştır. Şekil 9'da H₂S oluşumu piroliz (Şekil 9a) ve oksidasyon (Şekil 9b) prosesleri için sunulmaktadır.



Şekil 9. H₂S oluşumu a. Piroliz, b. Oksidasyon.

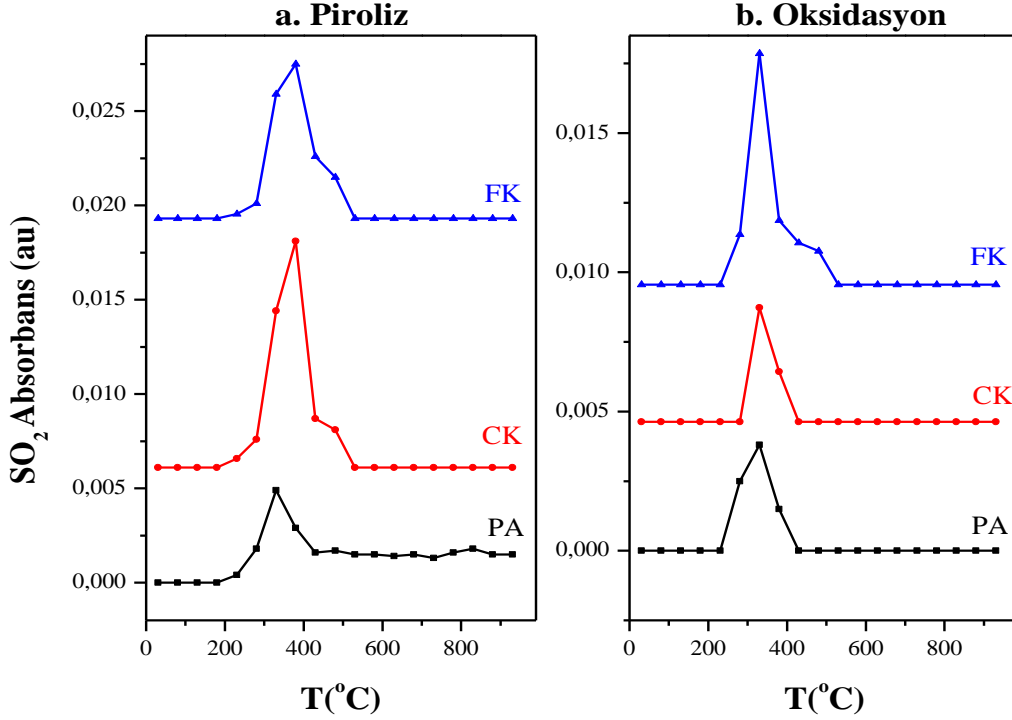
Biyokütleler H₂S oluşum sıcaklıkları açısından kıyaslandığında piroliz koşullarında ve CK için ~800°C sıcaklığa kadar H₂S oluşumu gözlenmemektedir. Şekil 9a'da H₂S oluşumu başlangıç sıcaklığı PA için < 200°C'de ve FK için ~200°C olarak gözlenmektedir. Maksimum H₂S oluşum sıcaklıkları ise PA için ~300°C ve FK için ~400°C gibi görünmektedir. Oksidasyon sırasında oluşan H₂S ise Şekil 9b'de gösterildiği gibi PA için en geniş sıcaklık aralığında gözlenmektedir. FK için H₂S oluşumu ~400°C,

CK için ~500°C'de başlamaktadır.

Çalışma sıcaklığında H₂S oluşumunun tamamlanmadığı her üç biyokütle içinde ortak bir sonuçtur.

3.5.5. Piroliz ve Oksidasyon Sırasında SO₂ Emisyonu

Piroliz ve oksidasyon koşullarında SO₂ oluşumu sırasıyla Şekil 10a'da ve Şekil 10b'de gösterilmektedir.



Şekil 10. SO₂ oluşumu a. Piroliz, b. Oksidasyon.

Şekil 10a'ya göre kabuklu biyokütleler SO₂ emisyonu açısından benzer davranışlar göstermiştir. PA için SO₂ oluşumu ise ~200°C başlayıp, ~450°C'de pik yapıp çalışma sıcaklık aralığında neredeyse sabit yoğunlukla devam etmektedir. Diğer iki biyokütle için SO₂ oluşumu ~500°C'de tamamlanmış görünmektedir. Oksidasyon sırasında SO₂ oluşumunu gösteren Şekil 10b'de PA ve FK için SO₂ oluşumu ~250°C başlamakta ve her üç biyokütle için ~350°C'de maksimuma ulaşmaktadır. SO₂ oluşumu PA ve CK için ~430°C'de, FK için ~530°C'de tamamlanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye'de üretilen ve enerji elde etme potansiyeli bulunan pamuk atığı, ceviz kabuğu ve fındık kabuğu'nun piroliz ve oksidasyon performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, kullanılan biyokütlelerin

temel özellikleri klasik analiz yöntemleri kullanılarak belirlenirken termal bozunma davranışları TGA analizi ile ve her iki proses sırasında açığa çıkan CH₄, CO, CO₂, H₂S ve SO₂ gazları TGA'ya entegre edilmiş FTIR ile takip edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen veriler hem biyokütlelerin enerji potansiyelini ortaya koymak hem de biyokütleleri kıyaslamak için kullanılmıştır. Sonuçlar kabuklu biyokütlelerin kendi arasında benzer, pamuk atığının ise kabuklu biyokütlelerden farklı termal davranışlar ve gaz emisyonlarında farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen tüm çıktılardan faydalanarak önerilen üç biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi, piroliz ve yanma süreçleriyle doğrulanmıştır. Enerji potansiyeli ispatlanan bu biyokütlelerin aynı zamanda kükürt içeren gazların emisyonunu azaltmak için de etkin malzemeler oldukları sonucu çıkarılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinatörlüğü tarafından desteklenen 2016-181 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazar, çalışmanın her aşamasını finanse eden Atatürk Üniversitesine, TGA-FTIR deneylerini gerçekleştirdiği Bayburt Merkez Laboratuvarına ve bu analizleri yapan uzman Adem Kara'ya şükranlarını sunar.

Kaynaklar

- [1] Evrendilek F., Ertekin C., 2003. Assessing the potential of renewable energy sources in Turkey. *Renewable Energy*, **28**(15), 2303-2315.
- [2] Kaya D., 2006. Renewable energy policies in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **10**(2), 152-163.
- [3] Soyhan H.S., 2009. Sustainable energy production and consumption in Turkey: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**(6-7), 1350-1360.
- [4] HERDEM, 2013. Turkey Energy Report. Herdem Attorneys At Law 2013.
- [5] Bain R., Overend R., Craig K., 1998. Biomass-fired power generation. *Fuel Processing Technology*, **54**(1-3), 1-16.
- [6] Werther J., Saenger M., Hartge E.U., Ogada T., Siagi Z., 2000. Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, **26**(1), 1-27.
- [7] Hamawand I., Sandell G., Pittaway P., Chakrabarty S., Yusaf T., Chen G.N., et al., 2016. Bioenergy from Cotton Industry Wastes: A review and potential. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, **66**, 435-448.
- [8] Haykiri-Acma H., Yaman S., 2006. Slow-pyrolysis and -oxidation of different biomass fuel samples. *Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, **41**(9), 1909-1920.
- [9] Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E., 2001. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, **20**(2), 101-112.
- [10] Kaygusuz K., 2009. Bioenergy as a clean and sustainable fuel. *Energy Sources Part a-Recovery Utilization and Environmental Effects*, **31**(12), 1069-1080.
- [11] Kocabas-Atakli Z.O., Okyay-Oner F., Yurum Y., 2015. Combustion characteristics of Turkish hazelnut shell biomass, lignite coal, and their respective blends via thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **119**(3), 1723-1729.
- [12] Shah M.A., Khan M.N.S., Kumar V., 2018. Biomass residue characterization for their potential application as biofuels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **134**(3), 2137-2145.
- [13] Açıklın K., 2011. Thermogravimetric analysis of walnut shell as pyrolysis feedstock. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **105**(1), 145-150.
- [14] Akdeniz R.C., Acaroglu M., Hepbasli A., 2004. Cotton stalk as a potential energy source. *Energy Sources*, **26**(1), 65-75.
- [15] Putun A.E., 2002. Biomass to bio-oil via fast pyrolysis of cotton straw and stalk. *Energy Sources*, **24**(3), 275-285.
- [16] Gomes R.S., Wilson N.P., Coates W.E., Fox R.W., 1997. Cotton (*Gossypium*) plant residue for industrial fuel: an economic assessment. *Industrial Crops and Products*, **7**(1), 1-8.
- [17] Sumner H.R., Hellwig R.E., Monroe G., 1984. Harvesting cotton plant residue for fuel. *Transactions of the Asae*, **27**(4), 968-972.
- [18] Fanu F.Y., Li H., Xu Y.Q., Liu Y., Zheng Z.F., Kan H., 2018. Thermal behaviour of walnut shells by thermogravimetry with gas chromatography - mass spectrometry analysis. *Royal Society Open Science*, **5**(9).
- [19] Idris S.S., Rahman N.A., Ismail K., Alias A.B., Rashid Z.A., Aris M.J., 2010. Investigation on thermochemical behaviour of low rank Malaysian coal, oil palm biomass and their blends during pyrolysis via thermogravimetric analysis (TGA). *Bioresource Technology*, **101**(12), 4584-4592.
- [20] Mortari D.A., Torquato L.D.M., Crespi M.S., Crnkovic P.M., 2018. Co-firing of blends of sugarcane bagasse and coal. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **132**(2), 1333-1345.
- [21] Mureddu M., Dessì F., Orsini A., Ferrara F., Pettinau A., 2018. Air- and oxygen-blown characterization of coal and biomass by thermogravimetric analysis. *Fuel*, **212**, 626-637.
- [22] Vhathvarothai N., Ness J., Yu J., 2014. An investigation of thermal behaviour of biomass and coal during co-combustion using thermogravimetric analysis (TGA). *International Journal of Energy Research*, **38**(6), 804-812.

- [23] Vhathvarothai N., Ness J., Yu Q.M.J., 2014. An investigation of thermal behaviour of biomass and coal during copyrolysis using thermogravimetric analysis. *International Journal of Energy Research*, **38**(9), 1145-1154.
- [24] Hu W., Liang F., Xiang H., Zhang J., Yang X., Zhang T., et al., 2018. Investigating co-firing characteristics of coal and masson pine. *Renewable Energy*, **126**, 563-72.
- [25] Souza B.S., Moreira A.P.D., Teixeira A., 2009. TG-FTIR coupling to monitor the pyrolysis products from agricultural residues. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **97**(2), 637-642.
- [26] El-Sayed S.A., Mostafa M.E., 2014. Pyrolysis characteristics and kinetic parameters determination of biomass fuel powders by differential thermal gravimetric analysis (TGA/DTG). *Energy Conversion and Management*, **85**, 165-172.
- [27] Haykırı-Açma H., 2003. Combustion characteristics of different biomass materials. *Energy Conversion and Management*, **44**(1), 155-162.
- [28] Zhang L., Xu C., Champagne P., 2010. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. *Energy Conversion and Management*, **51**(5), 969-82.
- [29] Stein S.E.(director), 2018. Infrared spectra. Eds: Linstrom P.J., Mallard W.G., National Institute of Standards and Technology, 20899, doi:10.18434/T4D303, (retrieved September 13).
- [30] Tao L., Zhao G.-B., Qian J., Qin Y.-K., 2010. TG-FTIR characterization of pyrolysis of waste mixtures of paint and tar slag. *Journal of Hazardous Materials*, **175**(1), 754-761.
- [31] Kanca A., 2019. The effects of cotton waste addition on pyrolysis and combustion characteristics of the low quality lignite. (Submitted for publication).
- [32] Reed A.R., Williams P.T., 2004. Thermal processing of biomass natural fibre wastes by pyrolysis. *International Journal of Energy Research*, **28**(2), 131-145.
- [33] Parthasarathy P., Narayanan S.K., 2014. Determination of kinetic parameters of biomass samples using thermogravimetric analysis. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, **33**(1), 256-266.
- [34] Fu P., Yi W., Bai X., Li Z., Hu S., Xiang J., 2011. Effect of temperature on gas composition and char structural features of pyrolyzed agricultural residues. *Bioresource Technology*, **102**(17), 8211-8219.



Sistem Tanılama Algoritmaları Kullanılarak Yapı Dinamik Karakteristiğinin Tahmini

Estimation of the Dynamic Characteristic of a Structure and Condition Assessment Using Structural Identification Algorithms

Ahmet SERT^{1,*} , Kemal BEYEN² 

¹ İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-1607-7569

² İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8878-0985

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 20/01/2019

Kabul Tarihi : 10/12/2019

Anahtar Kelimeler

Frekans Tanım Alanında Analiz
Sistem Tanılama
Sönüm Oranı
Yapı Tanılama
Zaman Tanım Alanında Analiz

Research Paper

Received Date : 20/01/2019

Accepted Date : 10/12/2019

Keywords

Frequence Domain Analysis
System Identification
Damping Ratio
Structure Identification
Time Domain Analysis

Özet

Yapılar dinamik yüklemeler altında farklı davranış gösterdiği bilinmektedir. Aktif bir deprem kuşağında olan ülkemizde deprem yapısal tasarımda büyük bir rol almaktadır. 17 Ağustos Kocaeli Depreminden sonra bölgede yürütülen çalışmalarda yapıların proje bürolarında tasarlandığı gibi davranmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada yapılar tasarlanırken kullanılan bazı varsayımların her durumda geçerli olmayacağı ve sistem ile ilgili karakteristik parametrelerin sistemden alınan tepkiler ile elde edilebileceği matematiksel ortamda kurulan 4 katlı betonarme bir binada gösterilmeye çalışılmıştır. Kocaeli depremi kaydı sonlu elemanlar analiz programında modellenen tipik bir bina yapısında uygulanarak ve yapıda oluşturulan gözleme istasyonundan alınan tepkiler, Matlab makro yazılım ortamında sistem tanılama algoritmaları yardımıyla yapısal dinamik özellikler tahmin edilmiştir. Yapı sağlığı durum değerlendirmesi pratik uygulanabilirlik açısından hasar tespiti için gösterilmiş ve tartışılmıştır.

Abstract

It is known that the building behaviour under earthquake loads can be very complex . Being an active earthquake zone, in our country earthquakeloads plays a big role in the design. By lessons learned from the Kocaeli Earthquake, it is clear that many buildings do not behave as they are assumed in a project office. In this study, we show that some of assumption used when evaluating the structures are not valid in every case. Firstly, Kocaeli earthquake is used in the finite element package program. Secondly, the structural characteristics have been estimated by using the system identification algorithms in Matlab, such as modal frequencies, damping ratio. Structural health monitoring status assesment has been shown and discussed for pratical assesment of damage.

1. Giriş

Modelleme sürecinde kullanılan yapı geometrisi, yapısal malzeme bilgileri ve analiz içindeki bilinmeyenlerin giderilmesi amacıyla yapılan güncellemelerin analitik sonuçları iyileştirdiği 1970'lerde başlayan 1990'larda çok güçlü olarak kullanılan deneysel modal analiz, mekanik ve uzay taşıtlarında uygulanmaya başlamasıyla birlikte önem kazandığı ve gelişimini sürekli arttırdığı bilinmektedir [1].

Mühendislik yapıları deprem, rüzgar gibi bir dinamik harekete maruz kaldığında etkiyen kuvvetin zaman içindeki değişimi, yapının ne kadar süre kuvvete maruz kalması, yapı içindeki yayılımı bu süreç içinde oluşan karakteristik yapısal davranışı şekillendirir. Yapılarda imalat sırasındaki oluşan belirsizlikler ve malzeme sönümünün farklı parametrelere bağlı olması sebebiyle sistem davranışı nümerik olarak tam tespit edilememiştir. Yapının karakteristik özelliklerinden olan frekans kesitlerin geometrik boyutlarına ve malzemenin elastise modülüne bağlı olarak belirlenirken sönüm ile ilgili parametrelerin

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ahmetsert02@gmail.com



belirlenmesi için dinamik deneylerin yapılmasına ihtiyaç vardır [2].

Günümüz izleme teknolojileri ve sinyal analizlerindeki gelişmeler güçlü ve etkili yapısal tanılama uygulamalarına imkan vermiş yeni nesil sensörler, veri toplama düzenekleri sinyal işleme tekniklerindeki değişik algoritmaların uygulanabilirliğini arttırmıştır [3].

Yapı malzemelerinde kullanılan beton ve çelik yüklemeye hızına göre farklı karakteristik özellikler göstermektedir. Bu farklı karakteristik özellikler farklı algoritmalar ile tayin edilebilir. Sistem tanılama algoritmaları yardımı ile inşaat mühendisliği yapılarında kat tepkileri ile modal periyotlar, sönüm ve fazdaki gecikmeler elde edilebilir. Böylelikle nümerik model düzeltmeleri yapılabilir ve sağlıklı nümerik modeller elde edilebilir.

Yapı titreşim verilerinden tanılama teknikleriyle elde edilen yapı karakteristikleri (1) nümerik modelin aslıyla uyumlu hale getirilmesinde, (2) yeni inşaatlarda biten inşaatlarda biten inşaatın projeye uyumunun ve imalat kalitesinin sertifikalanmasında ve (3) sigorta uygulamalarının bilimsel ölçütler içinde gerçekleşmesinde kullanılabilir [4].

Şafak, sistem tanılama algoritmalarının inşaat mühendisliği uygulamaları içinde nasıl uygulanabileceği ve yapı ile ilgili dinamik parametrelerin tahmini üzerinde çalışmalar yapmıştır [5].

Çelebi, bitişik nizam etkisi altındaki binaların sistem davranışlarını Whittier-Narrows depremi altında analiz edilmiştir ve binaların dinamik özelliklerini sistem tanılama algoritmaları yardımıyla incelemiştir [6].

Beyen, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde hasar alan Fatih Camii Külliyesinin karakteristik özelliklerini (doğal frekanslarını, mod şekillerini ve modal sönüm oranlarını) yapıdaki çevrel titreşimler yardımı ile tanılayıp parametrik analizler yapmıştır [7].

Bu çalışmada bilgisayar ortamında oluşturulan tipik bir betonarme binada 17 Ağustos Kocaeli depremi, sonlu elemanlar analiz programında kullanılıp elde edilen tepkiler Matlab makro ortamında işlenerek farklı matematiksel modeller ile modal frekans ve sönüm oranları elde edilmiştir. Modal sönümler sonlu elemanlar analiz programlarında varsayılan %5 sönümler ile yer değiştirilirse ilerde muhtemel bir dinamik yük altındaki tepkilerin tahmin etmek mümkündür. Dinamik yüklemeler veya çevrel titreşimler altında sistemler kendi karakteristik sönüm oranını, modal frekans özelliklerini verebilmektedir. Bu şekilde bilimsel bir yaklaşım ile sönüm oranını ve sistemin modal frekanslarını sistemden alınan veriler ile bulunmasına yardımcı olacaktır.

2. Yapı Dinamik Karakteristikleri

Yapının bir yüklemeye altında gösterdiği davranış, yapı geometrisine, sistem konumlandırılmasına, malzeme elastik davranışına bağlı olarak değişmektedir. Yapının bir tam hareketini tamamlama süresi yapının periyodu yapının önemli bir karakteristik özelliği olarak bilinir. Yapının periyoduna bağlı olarak binanın deprem karşısındaki tepkisi değişmektedir. Bir diğer dinamik karakteristik özellik ise sönüm oranıdır. Ana kayadan gelen deprem hareketi zemin tabakalarından geçerek, yapıyı titreştirir. Bu titreşim zemin serbest yüzeyinden geriye yansır ve aynı zamanda yapı içinde yukarı doğru ilerler, en üst kattan yansıyarak geri döner ve yarı sonsuz ortam olan zemin içinde geri dönmek üzere kaybolur. Enerjinin çok büyük bir ortamda yayılmasıyla ortaya çıkan bu sönüm, ortamın elastik sabitlerine ve kütleli yoğunluğuna ve yapının özelliklerine bağlıdır.

Yapı rijitleştikçe, mesnet ortamı yumuşadıkça ve zeminde ana kaya üzerindeki dolgu büyüdükçe, zemin ortamında enerji yayılması sebebiyle sönüm artar. Viskoz sönümün tersine, yüksek modlardaki enerji yayılma sönümün, düşük modlara göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda açıklanan sönüm türlerinden matematiksel çözümlemede en kolay gözönüne alınabileni viskoz sönümdür. Bu sebepten diğer tür sönümlerin de eşdeğer viskoz sönüme çevrilerek hesaba katılması matematik kolaylık bakımından tercih edilir. Yüksek modlarda sönüm frekansla beraber artar. Ayrıca sönümün genlikle de orantılı büyüdüğü belirlenmiştir. Yapılan deneylerden tipik bir yapıya düşük genliklerde sönüm %1-2 olarak elde edilmiştir. Kuvvetli yer hareketinde ise sönümün %5-10 değerine ulaştığı belirlenmiştir. Bazı durumlarda sönümün %15 değerinin aşıldığı da tesbit edilmiştir. Yapılarda eğdeğer viskoz sönüm, titreşim genliğinde zamanla meydana gelen azalma esas alınarak hesap edilebilir [8].

3. Periyot Frekans ve Açısal Frekans Kavramları

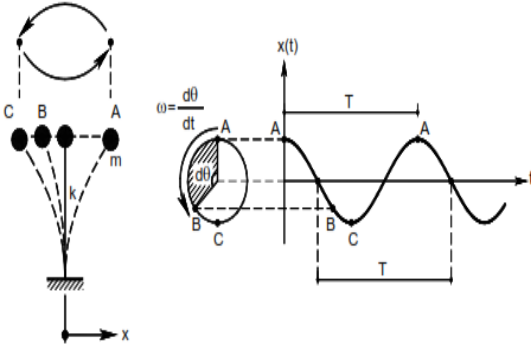
Bir sistemin doğal periyodu (T) titreşim sırasında bir tam çevrimi yaparak başlangıç seviyesine dönme süresidir ve saniye birimi cinsinden ifade edilir. (Şekil 1) Doğal periyodun tersi frekanstır ve birimi bir saniyede yapılan çevrim belirten (Hz) veya 1/s'dir. Açısal doğal, frekans titreşim hareketi dairesel hareket olarak gösterildiğinde birim zamanda taranan açı olarak tariflenir ve rad/s birimindedir. Bir periyotluk süre geçtiğinde Şekil 1'de A noktasından tekrar A noktasına geldiğinde taranan açı 2π

radian olacaktır [8].

Bu üç büyüklük arasında aşağıdaki bağlantılar bulunmaktadır:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2)$$



Şekil 1. Doğal titreşim periyodu ve açısal frekans.

Periyot, kütle ve rijitlik ilişkisi bir bağlantıda verilirse;

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3)$$

Açısal frekans ve rijitlik arasındaki bağlantı ise

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

Yapının ağırlığı yani kütlesi arttığında doğal periyot büyümektedir. Yapının öteleme rijitliği arttığında (perde, kolon gibi düşey taşıyıcıların boyutları büyütüldüğünde) periyot değeri küçülmektedir [8].

4. Sistem Tanılama

İnşaat mühendisliği uygulamaları için henüz yeni bir yaklaşım olan sistem tanılama genellikle kontrol mühendisliğine dinamik sistemlerin deneysel veriler kullanarak ve bazı istatistiksel yöntemler kullanılarak matematiksel modelini çıkartmak şeklinde tanımlanabilir.

Başka bir şekilde ifade edilirse sisteme ait dinamik özelliklerin zamana ve frekansa bağlı olarak matematiksel olarak verilmesidir. Son yıllarda inşaat mühendisliği yapılarının deprem tepkilerini anlamak için kullanılan en önemli yöntemlerden biridir.

Sistem tanılama tekniklerinin temelini inilirse en çok

kullanılan istatistiksel yöntem olan en küçük kareler yöntemi çıkar. En küçük kareler yöntemi birçok matematiksel yöntemin en temel uygulamasıdır. Bu matematiksel algoritmaların kullanılmasının en büyük nedeni zaman frekans dönüşümleri arasında en sık bilinen ve kullanılan Fourier dönüşümünün durağan olmayan sinyaller için kopukluklara sebep olmasıdır.

En küçük kareler yönteminin dinamik sistemlerde kullanılması Aström ve Bohlin (1965 Numerical Identification of Linear Dynamic System) tarafından yapılan çalışmalarla başlamıştır. Günümüzde inşaat mühendisliği uygulamaları içinde ne kadar az olsa da mühendislik uygulamaları içinde en çok yere sahip olan konulardan biridir. Sistem tanılama daha çok istatistik, ekonomi, elektrik ve kontrol mühendisliği alanlarında gelişmiş ve aktif bir şekilde kullanılmaktadır.

İnşaat mühendisliği uygulamaları içinde yapı sağlığı izleme, hasar tespiti ve hasar izleme gibi önemli alanlarda hayat bulmuştur.

Aşağıdaki denklemlerde doğrusal matematiksel modellerin teorileri ve Matlab makro ortamında Sistem Tanılama Algoritmaları gösterilecektir. Bu sistemler için Tek Girdi Tek Çıktı (TGTC) basit bir şekilde yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

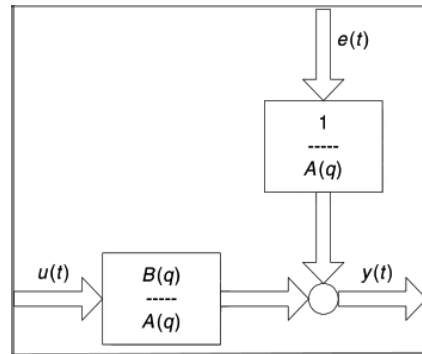
$$y(t) = a_1y(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) = b_1x(t-1) + \dots + b_{n_b}x(t-n_b) \quad (5)$$

Burada $x(t)$ ve $y(t)$ sırasıyla girdi ve çıktı dizileridir. a_j ve b_j zamana bağlı sistemin parametreleridir [9]. Denklem 5 tekrar düzenlenirse;

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}x(t) \quad (6)$$

Denklem 6'da $B(q)/A(q)$ transfer fonksiyonu olarak adlandırılır.

Sistem tanılamada kullanılan matematiksel modellerden kısaca bahsedilirse;



Şekil 2. ARX model yapısı.

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t) + \frac{1}{A(q)}e(t) \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $A(q)y(t)$ kısmı AutoRegressive ve $B(q)u(t)$ ise eXogenous şeklinde ifade edilir ki bunun genel hali ARX olarak isimlendirilir. Aynı şekilde sisteme beyaz gürültü ilave edilirse

$$y(t) = a_1y(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) + b_1u(t-1) + \dots + b_{n_b}u(t-n_b) + e(t) + c_1e(t-1) + \dots + c_{n_c}e(t-n_c) \quad (8)$$

Denklem 8 ARMAX modeli olarak tanımlanır. Düzenlenirse;

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t) + \frac{C(q)}{A(q)}e(t) \quad (9)$$

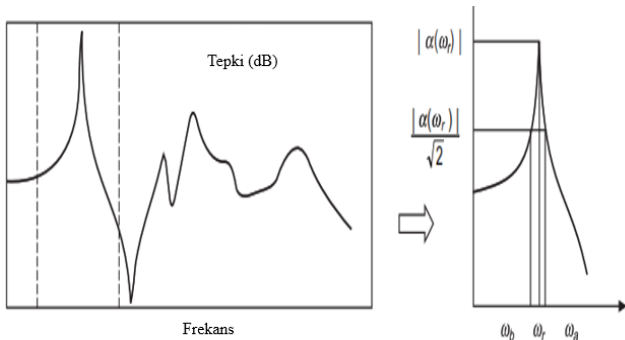
Denklem 9 elde edilir. Box-Jenkins, Output Error, State Space gibi matematiksel modeller hakkında ayrıntılı bilgi Matlab System Identification Toolbox'da bulunabilir.

5. En Yüksek Genlik Yöntemi (Peak-Picking)

Sistem tanılama algoritması ile modal parametreler elde edilebildiği gibi en yüksek genlik metodu yardımı ile yapının modal sönüm oranları tespit edilebilir.

Frekans davranış fonksiyonunda her bir rezonansa ait tepe noktası ve bu noktanın muadili ω_r tespit edilir.

Tepe noktasına karşılık gelen genlik değeri bulunur. Bu tepe noktasından genlik değerinin $1/\sqrt{2}$ 'si kadar kadar o rezonansın bant genişliği bulunup, bu noktaya denk gelen köklere (ω_a ve ω_b) noktaları tesbit edilerek modal parametrelere (modal sönüm oranına) aşağıda belirtildiği gibi ulaşılabilir.



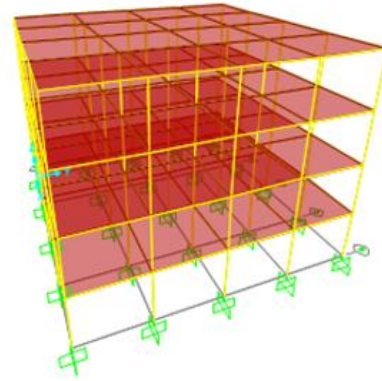
Şekil 3. Peak-Picking metodu.

$$\zeta_r = \frac{\omega_b^2 - \omega_a^2}{4\omega_r^2} \approx \frac{\omega_b - \omega_a}{2\omega_r} \quad (10)$$

Denklem 10 yardımıyla frekans tepki fonksiyonlarından modal sönüm oranları elde edilebilmektedir.

6. Nümerik Model Çalışması

Şekil 4'de belirtilen 4 katlı betonarme sistem Sonlu elemanlar analiz programında (SAP 2000)'de analiz edilmiştir. Tasarlanan bina için bina parametreleri, beton sınıfı C30, çelik sınıfı S420, kiriş ebatları 25x50 cm, kolon ebatları 50x50 cm, döşeme kalınlığı 14 cm ve kat yüksekliği 3 m olarak düşünülmüştür.

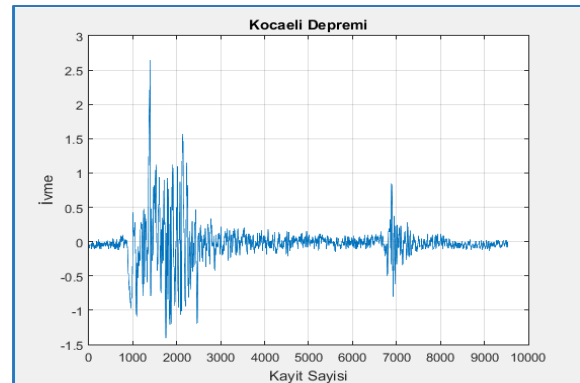


Şekil 4. Betonarme sistem 3D görünümü.

Betonarme sistemde kullanılan kuvvetli yer hareketi için 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Gebze Teknik Üniversitesi'nde kaydedilen kayıt kullanılmıştır.

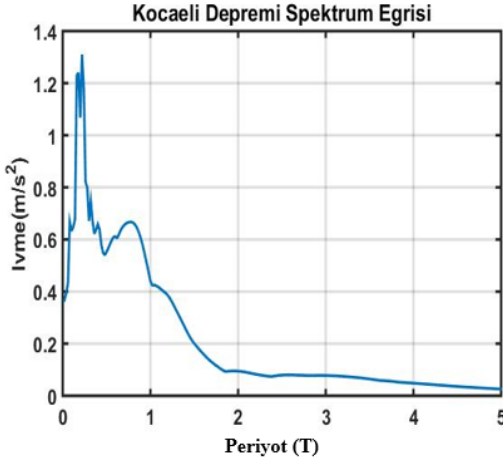
6.1. Gözlem İstasyonlarında Hesaplanan Kat Tepkileri

Yapısal sisteme etkendirilen girdi kuvvet fonksiyonu olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Gebze Teknik Üniversitesinde kaydedilen kaydedilen yer kaydı kullanılmıştır. Betonarme sisteminin 4. katında gözleme istasyonları oluşturulmuştur.

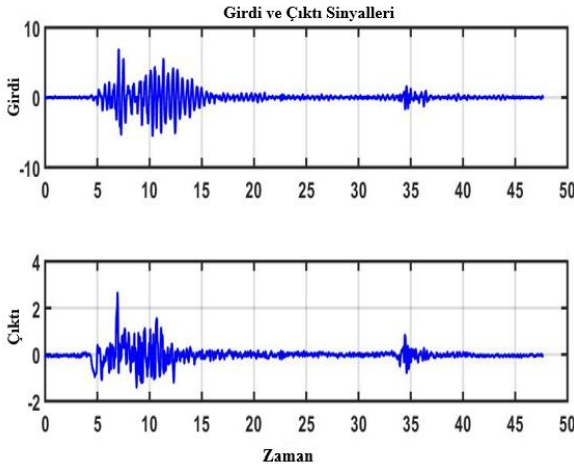


Şekil 5. Kocaeli depremi kaydı.

Buna karşılık binanın 4. katında üst köşe noktasında 105 nolu düğüm noktasında izleme istasyonu oluşturulmuştur. Alınan kat tepkileri ile sisteme ait lineer halde modal frekanslar ve modal sönümler elde edilmiştir.



Şekil 6. Kocaeli depremi spektrum eğrisi.



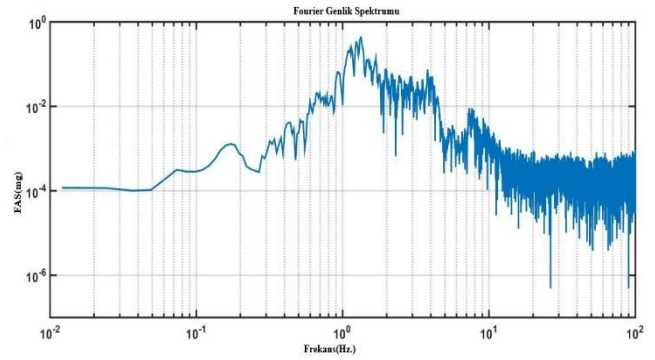
Şekil 7. Sisteme ait girdi ve çıktı sinyalleri.

7. Uygulama Örneği

Elde edilen kat tepkileri Matlab ortamında işlenerek matematiksel modeldeki modal frekanslar yakalanmıştır. Bu ise inşaat mühendisliği alanında yapı sağlığı durum değerlendirmesi ve hasar tahmini için yapılarda tercih edilen tahribatsız bir ölçme ve gözlem yöntemi olup bu çalışmada sanal laboratuvar olarak kabul ettiğimiz yapı analizi programı ve sonrası işlemler için oluşturulan sanal ortamın sunduğu benzeşim imkanı ile yapısal davranışlar izlenmiştir. Alınan tepkisel titreşimler sinyalleri Fourier dönüşümüne ve farklı sistem tanılama algoritmalarına tabi tutulmuş ve sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir.

Spektral analizde, hesaplanan frekans tepki fonksiyonları (FRF) gerçek yapı üzerinden hesaplandığı için değişik nümerik yuvarlama/yakınsama hataları içinde

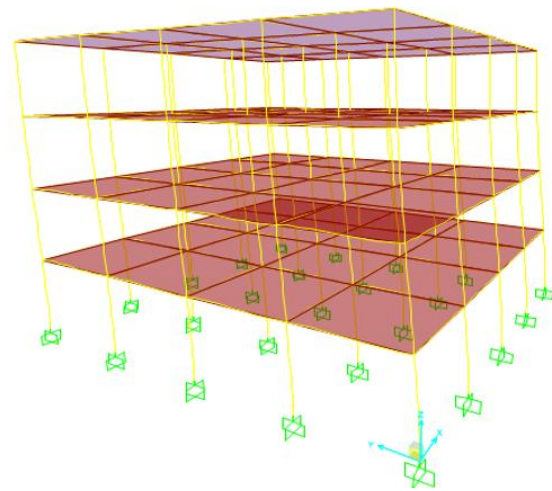
barındırmayacaktır. Mevcud durumu en iyi temsil edecek FTF modal parametrelerin bulunmasında kullanılabilir. Zaman tanım alanında, çevrel titreşim kayıtları ve yapısal giriş ve yapısal noktaların tepkileri çıkış olarak alınıp, yapısal sistemdeki giriş çıkış olarak alınıp, yapısal sistemdeki giriş-çıkış ilişkilerinin TSDS (Tek Giriş Tek Çıkış – TGTÇ) ve ÇSDS (Çok Giriş Çok Çıkış – ÇGÇÇ) olarak tasarlanan matematik modelleri değişik filter tekniklerinin optimizasyon uyarlamaları kullanılarak aranan parametrelerin giriş-çıkış ilişki ağı en güvenilir mertebeye kurulmaya çalışılmıştır [11].



Şekil 8. Kat tepkisinin Fourier eğrisi.

Şekilde görüldüğü gibi zaman tanım alanındaki bir sinyalin frekans içeriğini görebilmek için Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Çalışılan yapımızın ilk hakim moduna ait modal frekans yaklaşık 2 Hz de izlenmiştir. Matematiksel modelde ise ilk mod Şekil 9'da görüldüğü gibi 2,15 Hz ve ikinci mod ise 2,35 Hz olarak değerlendirilmiştir.

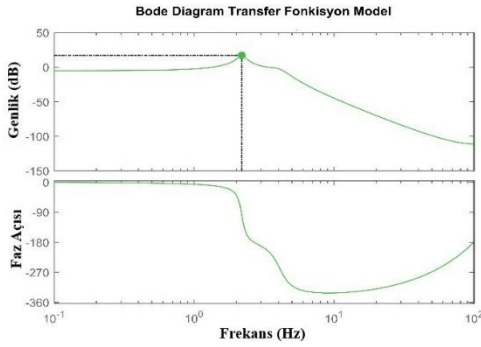
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.46435 f = 2.15354



Şekil 9. Sistem 1. modu.

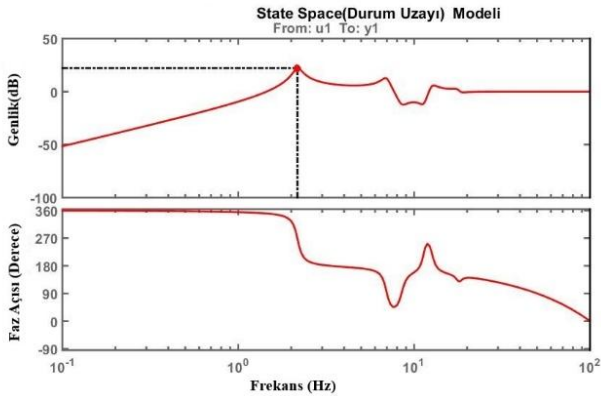
Analitik çalışmada kullanılan matematiksel modelde ikinci modda burulma hakim bir davranış gözlemlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçların bir başka yöntemle irdelenmesi ve doğruluklarının sınanması için zaman tanım alanında tanımlanmış matematiksel davranış modelleri olan (Arx (Otomatik regresyon extra girdi model), Armax (Kayan pencere ortalamalarının uygulandığı otomatik regresyon extra girdi model), Output Error (Çıktının hata kabul edilerek yeniden tanımlama algoritmasının içinde değerlendirildiği model) ve State Space (Durum Uzay ortamında analiz) aday modelleri bir Matlab makro yazılım tabanlı kodlama içinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bir sonraki bölümde tartışılmıştır.



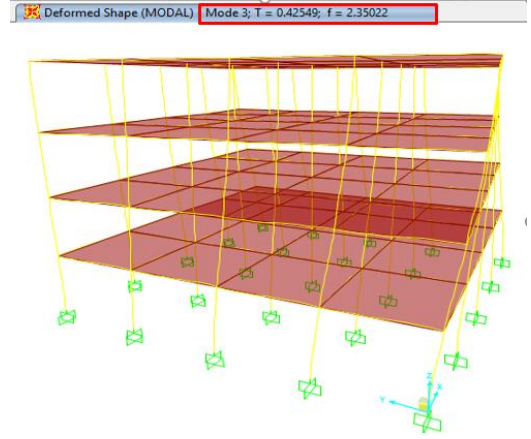
Şekil 10. Transfer fonksiyonu.

Şekildeki girdi ile çıktı arasında kurulan transfer fonksiyonu modeli ile 1. tepe noktası ile sistemin 1. modu tam olarak uyumaktadır. Fazın 180 derece değiştiği yerde tepe noktası görülmektedir. Birinci modda bulunan sönüm oranı ise %4,61 olarak tespit edilmiştir. Matematiksel modelde spektrum eğrisi için kullanılan sönüm oranı ise %5'dir.



Şekil 11. State-space (durum uzayı) modeli.

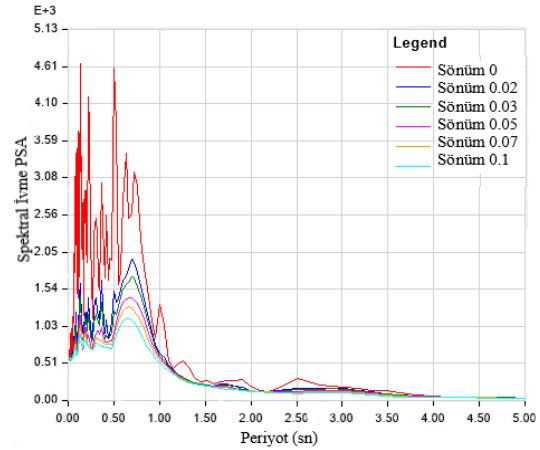
State Space matematiksel modeli kullanılarak sistemin 1 ve 3 modları tespit edilmiştir. 2 moddaki faz açısındaki 90 derecelik değişim ise yapının burulma modundaki durumunu temsil etmektedir. Şekil 12'de ise 1. burulma (2. mod) durumundaki yapı davranışı gösterilmiştir.



Şekil 12. Burulma modundaki sistem.

Yukarıda belirtilen frekans tepki fonksiyonları, modal için 1. modda %4,61, 2. modda ise %8,5 olarak tespit edilmiştir.

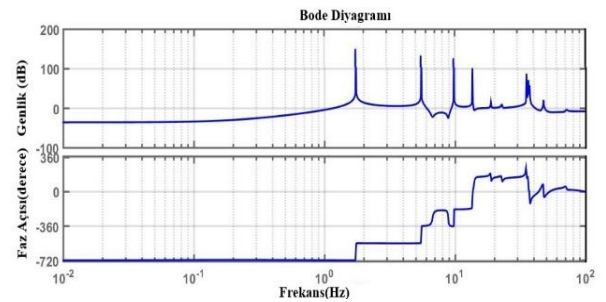
Farklı matematiksel modeller ile elde edilen eğriler Ekler bölümünde verilecektir.



Şekil 13. Farklı sönüm oranları için spektral ivme.

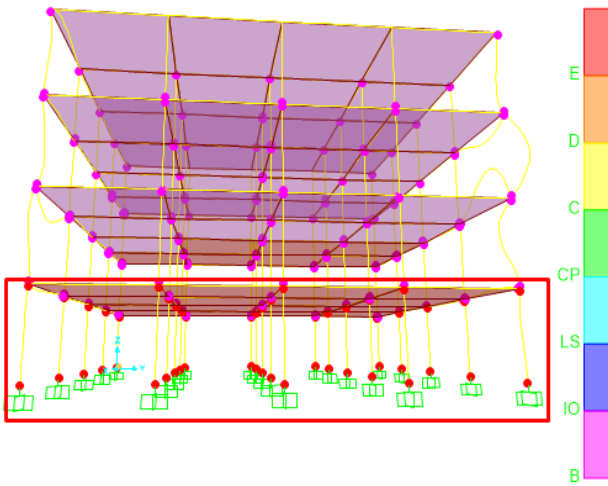
Şekil 14'de görüldüğü gibi farklı sönüm oranlarında farklı ivmeler almıştır, bu ise daha farklı kesit tesirleri üretmekte ve dolayısıyla tasarım aşamasında eleman boyutları önemli ölçüde değişmektedir.

7.1. Hasarlı Yapı ve Karakteristik Özellikler



Şekil 14. Hasarlı yapı için modal frekanslar.

Binanın mevcut siteminin dayanımı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) verildiği gibi %40 dayanım azaltılmasına gidilerek mevcut hasarlı bir yapı mukavemetinin can güvenliği performans seviyesi içinde kaldığı kabul edilmiş ve yapı sağlığı durum değerlendirme tahmin çalışması bir sonraki uygulama olarak aşağıda tartışılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi hasar verilen yapının ilk modda 1,73 Hz ikinci modda ise 5,49 Hz bilgileri elde edilmiştir. Yapı hasar aldıkça plastik mafsallar oluşacak ve enerji emilimleri göçme öncesi performans seviyesine kadar devam edecektir. Yapısal hakim modlardaki tepe değer kaymaları yani değerlerin küçülmesi, dolayısıyla periyodların büyümesi bir hasar durumunun göstergesi olarak değerlendirilebilir.



Şekil 15. Hasarlı yapıdaki plastik mafsallaşmalar.

Şekil 15’de Kocaeli depremi altında mafsallaşan kolonlar verilmiştir. Görüldüğü üzere zemin kat kolonları ağır hasar almıştır.

8. Sonuçlar

İnşaat mühendisliği alanında yeni yer bulmaya başlayan ve yapı sağlığı izleme sistemlerinin temeli olan sistem tanılama algoritmaları kullanılarak yapılar hakkında çevrel titreşimler deprem rüzgar gibi dinamik yükler altında yapı hakkında önceden veya depremden hemen sonra gerçek bilgi sahibi olunmasına imkan sağlamaktadır. Çalışmada görüldüğü üzere sonlu elemanlar ortamında 1. mod 2,15 Hz ve 2. modu 2,35 Hz’de tespit edilmiştir. Bu modlara ait sönüm oranları ise sırasıyla %4,61 ve %8,5 olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde sistemde hasarların oluştuğu düşünüldüğünde ise ilk modda 1,73 Hz ikinci modda 5,49 Hz elde edilmiştir. Çalışmada görüldüğü gibi

matematiksel modeller dışında da modal frekanslar sinyal verileri ile tam olarak bulunabilmektedir.

Aktif bir deprem kuşağında olan ülkemizde depremden hemen sonra değerlendirme yapmak çok önemlidir çünkü büyük depremlerden sonra oluşan artçı depremlerde ciddi oranda can kaybı yaşanmıştır. Artçı deprem hasarlarının değerlendirilmesi açısından depremden hemen sonra hızlı bir şekilde önemli hasarlı binaların değerlendirilmesi gerektiğini afet sonrası uygulanan boşaltma ve güçlendirme çalışmalarının can güvenliği içinde gerçekleşmesi açısından önemlidir.

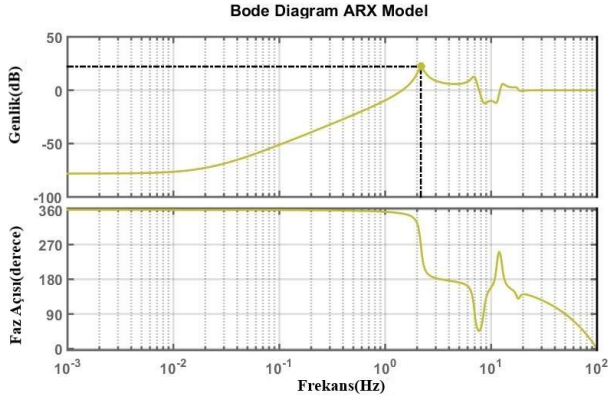
Hasarsız bir yöntem olan çevrel titreşim kuvvetleri yardımı ile binalar hakkında değerlendirmeler yapılabilmektedir ve gerektiği durumlarda burada çalışılan algoritmalar uygulanabilecektir.

Çalışmada görüldüğü gibi deprem kayıtları matematiksel ortamda işlenerek binanın en önemli özellikleri tespit edilebilir bu ise sigorta uygulamalarında yapı sağlığının tespiti açısından önemlidir. Önemli kamu kuruluşlarının yapım sonrası için geçici kabul veya tam kabul sürecinde sistem tanılama algoritmaları kullanılarak binanın deprem karşısındaki davranışı ve dinamik yapısal parametrelerin değerleri, proje hesaplarında öngörülen değerlerle tutarlılığı veya imalat sonrası son durum değerleri olarak kullanılması için önemli arşiv bilgi olarak yapının doğru kimliğinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca malzemenin elastik kısmından ziyade plastik kısmının davranışından istifade eden inşaat mühendisleri yapıların kendi sönüm oranları göz önünde bulundurularak daha gerçekçi parametreler ile tasarım yapabilirler. Bu durum ise olası bir depreme daha hazırlıklı olunmasını sağlar.

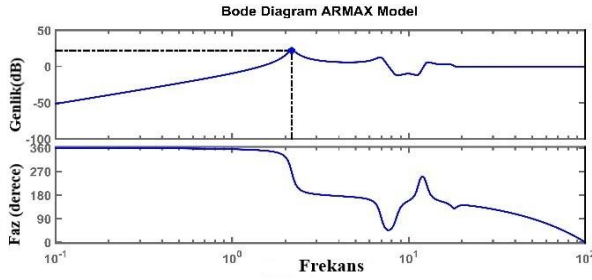
Çalışmada görüldüğü üzere sistem üzerine girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiler ile binaya ait özellikler net bir şekilde yakalanmıştır. Sinyal verilerinden alınan sonuçlar yardımı ile sonlu eleman bilgisayar modelleri güncellenebilir ve mevcut yapı tam bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılabilir. Bu ise stratejik askeri binalar veya endüstriyel yapılarda patlama, yangın, çarpma gibi olağanüstü durum senaryolarının bilgisayar ortamında tam olarak simülasyonunun yapılmasına olanak sağlamaktadır. Yeni Türk Deprem Yönetmeliği’nde de bu algoritmalar yer bulduğu için gelecekte çok daha sık bir şekilde karşılaşılabileceğini göstermektedir.

Ekler

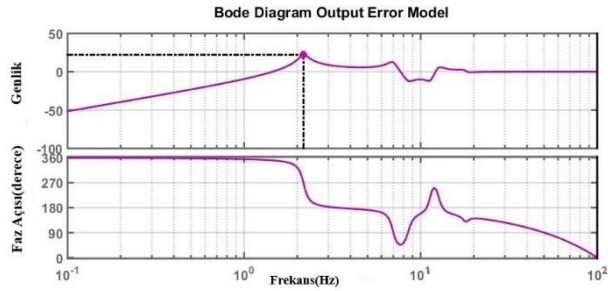
Farklı matematiksel modeller ile oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil A.1. ARX model.



Şekil A.2. ARMAX model.



Şekil A.3. Output Error model.

Kaynaklar

- [1] Beyen K., 2013. Mevcud yapılar, nümerik modellerinin güvenilirliği ve analiz sonuçlarına etkileri. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay, 25-27 Eylül, 1-12.
- [2] Celep Z., 2018. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. 1. Baskı, Beta Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- [3] Beyen K., 2015. Hasar tanılama çalışmalarında sinyal analizi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (DEÜ), İzmir, 10-12 Haziran.
- [4] Beyen K., 2017. Titreşim verisiyle güncellenmiş sonlu elemanlar modeli ile hasar simülasyonu. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, **32**(2), 403-415.
- [5] Şafak E., 1989. Adaptive modeling identification, and control of dynamic structural system 1: theory. Journal of Engineering Mechanics, **11**(115), 2386-2405.
- [6] Çelebi M., 1993. Seismic response of two adjacent building 1 data and analysis. Journal of Structural Engineering, **119**(8), 2461-2476.
- [7] Beyen K., 2008. Structural identification for post earthquake safety analysis of the Fatih Mosque after the 17 August 1999 Kocaeli earthquake. Earthquake Engineering Structural Dynamic, **30**(8), 2165-2184.
- [8] Darılmaz K., 2015. Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş. 1. Baskı, Yapı Yazılımları Yayınları, İstanbul.
- [9] Ljung L., 2015. System Identification Toolbox User's Guide Matlab and Simulink. 31. ed., MathWorks, USA.
- [10] Fu Z., 2001. Modal Analysis Butterworth-Heinemann. 4. ed., Jordan Hill, Oxford.
- [11] Beyen K., 2007. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde hasar alan Fatih Cami'nin dinamik karakteristiğinin tanımlanması. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16 Ekim, 49-60.
- [12] Sak Ö.F., 2013. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde hasar almış bir binanın yapı tanılama sonuçlarıyla güncellenmiş modelinin analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [13] Beyen K., 2012. Sayısal yapı modeli güvenilirliği bir yapı klonlama uygulaması. İ.M.O İstanbul Şubesi Seminerleri, İstanbul.
- [14] Çelebi M., 1999. Seismic responses of two adjacent building 1 data and analyses. J. Struct. Eng., **119**(8), 2461-2476.
- [15] Şafak E., 1989. Adaptive model, identification, and control of dynamic structural system 1. ASCE Theory J. Struct. Eng. Mech., **115**(11), 2386-2405.
- [16] Şafak E., 1989. Adaptive model, identification, and control of dynamic structural system 2. ASCE Theory J. Struct. Eng. Mech., **115**(11), 2406-2426.
- [17] Şafak E., 1991. Identification of linear structures using discrete-time filters. ASCE Theory J. Struct. Eng. Mech., **117**(10), 3064-3085.
- [18] Sap2000 Nonlinear V20.2, Comp. & Struct. Inc., Berkeley, California, USA, 2018.

- [19] Etabs Nonlinear V16.2, 2018. Comp.& Struct. Inc., Berkeley, California, USA.
- [20] Mathworks, 2015. System Identification Toolbox for Matlab (Release 2015b). The MathWorks Ins., Natic, MA.
- [21] Ikeda Y., 2015. Verification of system identification utilizing shaking test of a full scale 4-story steel building. Eartquake Engng. Struct. Dyn., **45**, 543-562.



Aynı Koşullar Altında Tasarlanan 12 Katlı Çelik ve Betonarme Bir Yapının TBDY 2018 Esaslarına Göre Karşılaştırılması

Comparison of 12-Storey Steel and Reinforced Concrete Structures under the Same Conditions According to the Principles of TBDY 2018

Ayşenur KUŞU^{1,*} , Kemal BEYEN² 

¹ İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-0173-5231

² İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8878-0985

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 24/01/2019

Kabul Tarihi : 03/12/2019

Anahtar Kelimeler

Betonarme
Çelik
Deprem
Zaman Tanım Alanında Analiz

Özet

Çanakkale bölgesinde inşa edilecek olan çelik ve betonarme 12 katlı eğilme moment-kayma çerçeve sistem bina, zaman tanım alanında bölgesel olarak kaydedilmiş 11 deprem ivme verisi ile doğrusal analiz edilmiştir. Uzak ve yakın saha kaynaklı depremlerden seçilen bölgesel kayıtlar analizlerde kullanılmış ve sonuçlar TBDY 2018 kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Her iki yapı aynı servis yük koşulları altında analiz edilmiştir. Analize göre, TBDY 2018 çerçevesinde kütle katılım oranları, göreceli kat yer değiştirmeleri, kat ve temel kesme kuvvetleri, ikinci derece etkiler ve maliyet analizleri her iki yapı için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda kütle katılım oranları her iki yapı için de şartnamenin istemiş olduğu %95 sınır durumunu sağlamış, göreceli kat öteleme kontrolleri ve ikinci merteye etkileri sınır değerlerin altında kalmıştır. Taban kesme kuvvetleri, çelik yapı karkas sistemi daha hafif olduğundan dolayı betonarme yapıya oranla daha küçük çıkmıştır. Maliyet analizlerinde yapı çeliği günümüzde pahalı olduğundan dolayı betonarme yapı daha avantajlı durumdadır. Betonarme olarak inşa edilecek olan yapının karşılaştırılan parametrelerde daha uygun sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. 12 katlı binanın betonarme imalatı daha ekonomik olup, birçok açıdan daha avantajlıdır.

Research Paper

Received Date : 24/01/2019

Accepted Date : 03/12/2019

Keywords

Reinforced Concrete
Steel
Earthquake
Time Domain Analysis

Abstract

Steel and reinforced concrete 12-storey bending moment resistant shear frame building to be constructed in Çanakkale region is linear analyzed in time domain with 11 regionally recorded earthquake acceleration data. Records that were chosen from far and near field activities are used and results are compared according to the criteria of the TBDY 2018. Both structures were analyzed under the same conditions. According to the analysis, mass participation ratios, relative story displacements, base shear forces, second order effects and cost analyzes were compared for both structures within the framework of TBDY 2018. As a result of these comparisons, the mass participation ratios provided the %95 boundary condition for both structures, relative story displacement controls and the second order effects remained below the limit values. The base shear forces were smaller than the reinforced concrete structure due to the lighter structure of the steel structure. In cost analysis, reinforced concrete structure is more advantageous since structural steel is expensive today. The fact that the structure to be constructed as a reinforced concrete gives more suitable results in all cases of the comparisons. Reinforced concrete construction for the 12 story building is also cost effective and shows more advantageous in many respects.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): aysenurcelikoglu93@gmail.com



1. Giriş

Türkiye dünyanın en önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Yapıların tasarımında yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri özellikle yüksek yapılarda etkin rol oynamaktadır. Günümüzde olan depremlerin tamamının sayısal formda deprem ivme kayıtlarına ulaşmak mümkündür. Bu da bizi yapıları inşa edeceğimiz bölgenin deprem geçmişine bakmamıza fırsat sağlamaktadır. TBDY 2018’de yapı analizlerinde verilen hesap yöntemlerinde zaman tanım alanında analiz bulunmaktadır. Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on olacaktır [1].

Deprem yeryüzüne yakın yerlerde biriken mekanik enerjinin aniden serbest kalışıyla meydana gelen, yer kabuğunun sallanma ya da ani hareketidir [2]. Bu deprem ivme kayıtlarının etkilenmesi ile yapı o bölgede daha önce olmuş olan depremlerde nasıl bir davranış göstereceğini bize göstermektedir. Bunun sonuçları ise o bölgeye yapılacak olan bir yapının tasarımında önemli bilgiler vermektedir. Bu analizler ile yapının tasarımı güvenli bir şekilde oluşturulabilir.

Zaman tanım alanında analizlerde, zemin ivme değişiminin yapılardaki maksimum yer değiştirme üzerindeki etkisi sismik olarak aktif bölgelerde yer alan yapılarda gözlenen davranışı temsil ettiği ortaya konulmuştur [3].

Günümüzde yapı emniyet ve yapı konforunun ardından gelen maliyet, yapı tasarımında önemli rol oynamaktadır. Yapı tasarımında DBYBHY 2007 ve ardından en güncel deprem şartnamesi olan TBDY 2018 ile yapılar için can güvenliği tasarımda önceliklidir. Tasarımın ekonomik açıdan karşılanabilir, bakım ve diğer harcamaların sürdürülebilir olması ayrıca önem arz etmektedir.

Bu makalede aynı taşıyıcı sistemler ile oluşturulan, 12 katlı yapılması tasarlanan bir yapının çelik ve betonarme modellemeleri yapılmış, söz konusu bölgeden alınan gerçek deprem kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılmış ve boyutlandırılmıştır. Betonarme yapı, üzerine gelen yükleri moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Çelik yapı ise üzerine gelen yüklerin tamamının süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme perdeler yapıların çekirdek bölgesine yapılmıştır ve her iki yapı içinde çekirdek bölgesi betonarme olarak tasarlanmıştır. Bu yapıların

tasarımında yapı emniyeti ve yapı konforunun sağlanması amaçlanmıştır. Yapı emniyeti, her bir elemanın gerilme kontrollerini sınırlar altında tutarak, yapı konforu ise büyük deplasmanların önüne geçerek deplasman kontrolleri ile sağlanmıştır. Bu yapının Çanakkale ili, Ayvacık ilçesinde yapılması öngörülmüştür. Deprem kuvvetlerinin etkiltilmesinde zaman tanım alanında analizler yapılmıştır ve bu bölgeden alınan 11 deprem kaydı TBDY 2018’e göre yapıya etkiltilmiş ve bu depremler altında davranışları incelenmiştir. Bu yapıların gerekli kombinasyonlar altında görelî kat öteleme kontrolleri, ikinci mertbe kontrolleri TBDY 2018’e göre yapılmıştır. Ayrıca her iki yapı maliyet ekseninde karşılaştırılmış ve hangi yapının maliyet açısından daha uygun olduğu gösterilmiştir.

2. Analizler ve Karşılaştırmalar

2.1. Betonarme Yapı

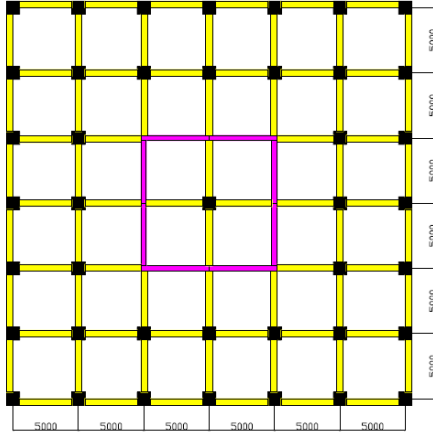
2.1.1. Yapı Taşıyıcı Sistemi

Yapı ana taşıyıcı sistemi planda binanın orta noktasında yer alan çekirdek perdeler ve çerçeve sistem ile oluşturulmuştur. Yapıda binanın deprem yüklerini güvenli ve sürekli bir şekilde zemine kadar aktarabilecek yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmaktadır. Betonarme yapı planda simetrik, X ve Y yönünde 6 açıklıklı ve her bir açıklık 5 m’dir. Kat alanı 900 m²’dir. Yapı 12 katlı ve tipik kat yüksekliği 3,7 m’dir. Yapı konut olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yapının planı Şekil 1’de, 3 boyutlu modeli Şekil 2’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

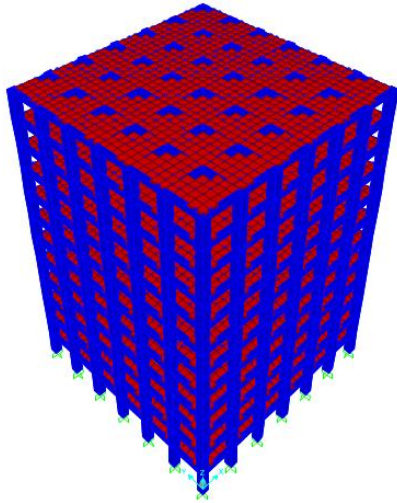
Betonarme yapı taşıyıcı sisteminde döşemeler 18 cm plak döşeme, çekirdek perdeleri ise 40 cm perde olarak oluşturulmuştur. Tipik kolon boyutu 100/100, tipik giriş boyutları 50/60, 60/80, 70/80’dir. Kolon, giriş, perde ve döşemeler için kullanılan beton kalitesi C35’dir.

Yapının yer alacağı zemin ZB – Az ayrışmış, orta sağlam kayalar olarak alınmıştır.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$, dayanım fazlalığı katsayısı $D=2,5$, yapı konut olarak kullanılacağından dolayı bina önem katsayısı $I=1$, bina kullanım sınıfı $BKS=3$ olarak belirlenmiştir. AFAD’ın sayısal bilgi temin edilen sitesinden, yapının yapılacağı bölgenin enlem ve boylam değerleri girilerek bulunan kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı $S_{DS}=0,96$, 1,0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı $S_{D1}=0,217$, köşe periyod $T_A=0,045s$, $T_B=0,226s$ olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre deprem tasarım sınıfı $DTS=1$, bina yüksekliği 44,4 m olduğundan dolayı bina yükseklik sınıfı $BYS=3$ olarak karar verilmiştir.



Şekil 1. Betonarme yapı 1. kat planı.



Şekil 2. Betonarme yapı 3 boyutlu modeli.

2.1.2. Yapı Yüklemeleri

Betonarme yapı yüklemesinde yapı öz yükleri sonlu elemanlar programı ile profil özgül ağırlıkları otomatik olarak etkilmiştir.

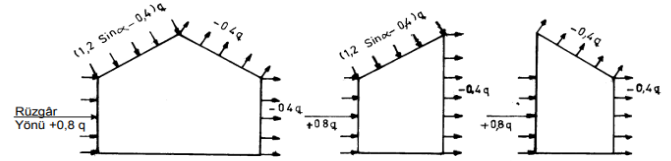
Hareketli yük TS498'e göre yapı konut olarak kullanılacağından dolayı 2 kN/m^2 olarak döşemelere etkilmiştir.

Rüzgar yükü TS498'de yer alan Tablo 1'deki parametrelere göre hesaplanmıştır.

Tablo 1. TS498 yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme [4].

Zeminden Yükseklik (m)	Emme (q) (kN/m ²)
0~8	0,5
9~20	0,8
21~100	1,1
>100	1,3

Rüzgar kuvveti TS498'de verilen Şekil 3'te yer alan katsayılar ile etki ettiği konuma göre azaltılmıştır.



Şekil 3. TS498 planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımı [4].

Tablo 2. Betonarme yapı rüzgar yük değerleri.

KAT	YÜKSEKLİK (m)	GENİŞLİK (m)	RÜZGAR ALANI (m ²)	CEPHE KATSAYISI	q		RÜZGAR KUVVETİ (kN)	BULUNDUĞU CEPHE KATSAYISI	RÜZGAR KUVVETİ (kN)	
					(kN/m ²)					
BASINÇ	1	3,7	5	18,5	0,8	0,5	7,4	EMME	0,4	3,7
	2	3,7	5	18,5	0,8	0,5	7,4		0,4	3,7
	3	3,7	5	18,5	0,8	0,8	11,84		0,4	5,92
	4	3,7	5	18,5	0,8	0,8	11,84		0,4	5,92
	5	3,7	5	18,5	0,8	0,8	11,84		0,4	5,92
	6	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28		0,4	8,14
	7	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28		0,4	8,14
	8	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28		0,4	8,14
	9	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28		0,4	8,14
	10	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28		0,4	8,14
	11	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28		0,4	8,14
	12	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28		0,4	8,14

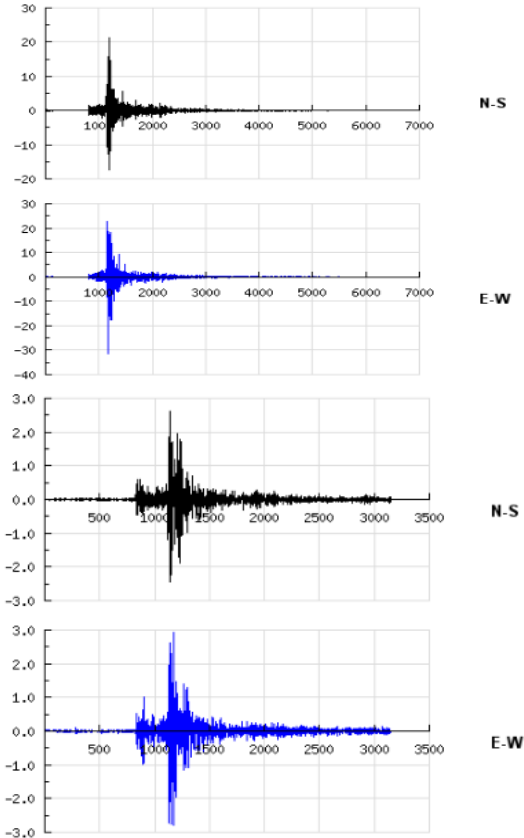
Yapıya etkiye rüzgar yükleri Tablo 2'de sunulmuştur. Deprem yükü zaman tanım alanında analiz yapıldığından

doğru AFAD'ın ilgili sitesinden alınan Çanakkale ili Ayvacık ilçesine ait 11 adet deprem yükü etki edilmiştir.

Alınan kayıtların kodları, şiddetleri, derinlikleri ve enlem-boylam değerleri Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Alınan deprem kayıtlarının özellikleri.

OD	TARİH	ŞİDDET	ENLEM-BOYLAM	DERİNLİK
			N-E	km
1	19.01.2015	3,9 Mw	39,40710-26,37510	8,8
2	14.03.2017	3,1 Mw	39,54060-26,20780	7,99
3	06.11.2017	3,5 Mw	38,95580-26,28810	12,5
4	22.06.2018	3,1 Mw	38,90480-25,85900	6,91
5	17.06.2018	3,2 Mw	39,59965-26,40761	7,52
6	02.06.2018	3,1 Mw	39,58480-25,98980	5,9
7	29.05.2018	4,1 Mw	39,59965-26,40761	6,42
8	31.03.2017	3,2 MI	39,55700-26,12230	6,99
9	17.06.2017	3,5 Mw	38,82710-26,43130	6,99
10	13.06.2017	4,0 Mw	38,84450-26,41630	6,83
11	16.06.2017	3,8 Mw	38,84500-26,47010	12,73

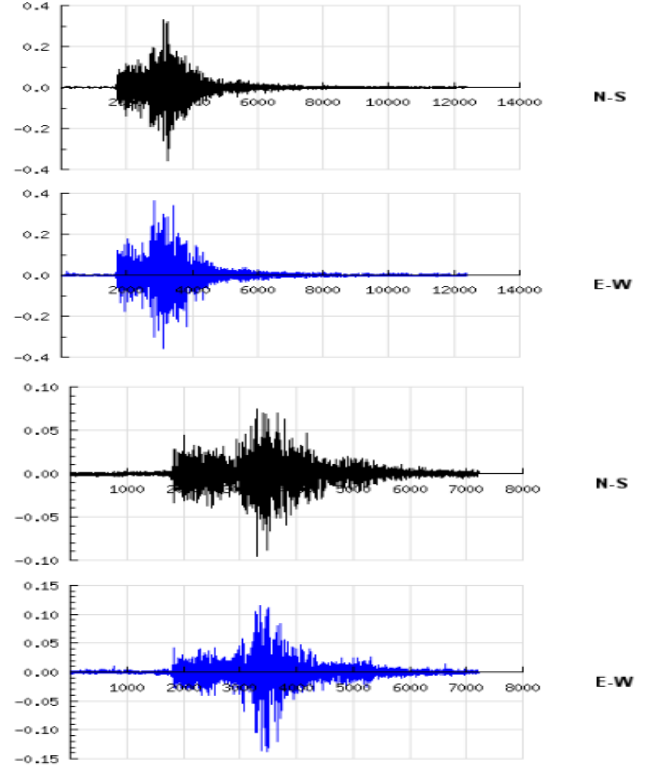


Şekil 4. E1 ve E2 deprem ivme grafikleri.

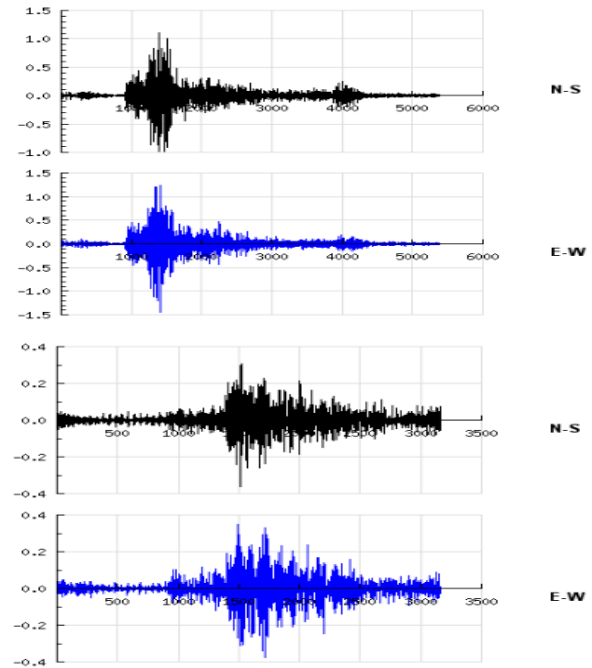
Alınan tüm deprem kayıtlarının spektrumlarının ortalamasının 0,2T ve 1,5T periyotları arasındaki

genliklerinin, tasarım spektrumu genlikleri arasında kaldığından dolayı deprem kayıtlarında bir saçılma söz konusu değildir. Deprem kayıtları bu doğrultuda seçilmiş, ölçeklenmiş ve yapıya etkilmiştir.

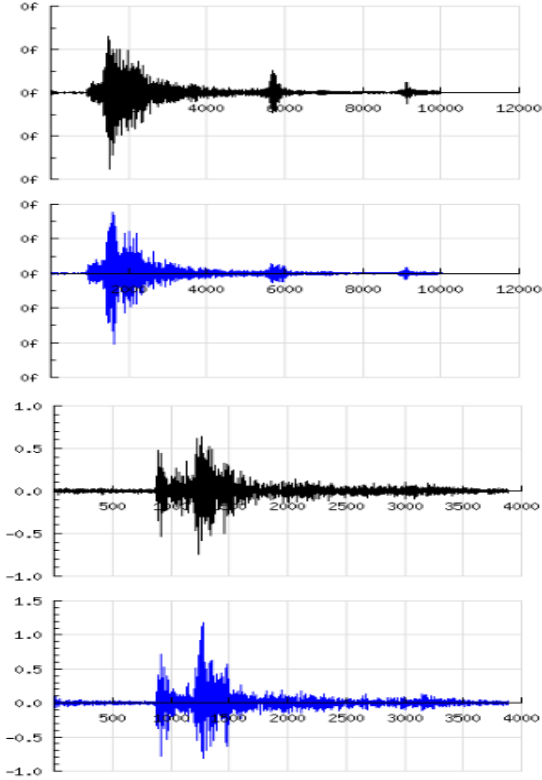
Tüm deprem kayıtlarının ivme grafikleri Şekil 4 ve Şekil 9 arasında sunulmuştur.



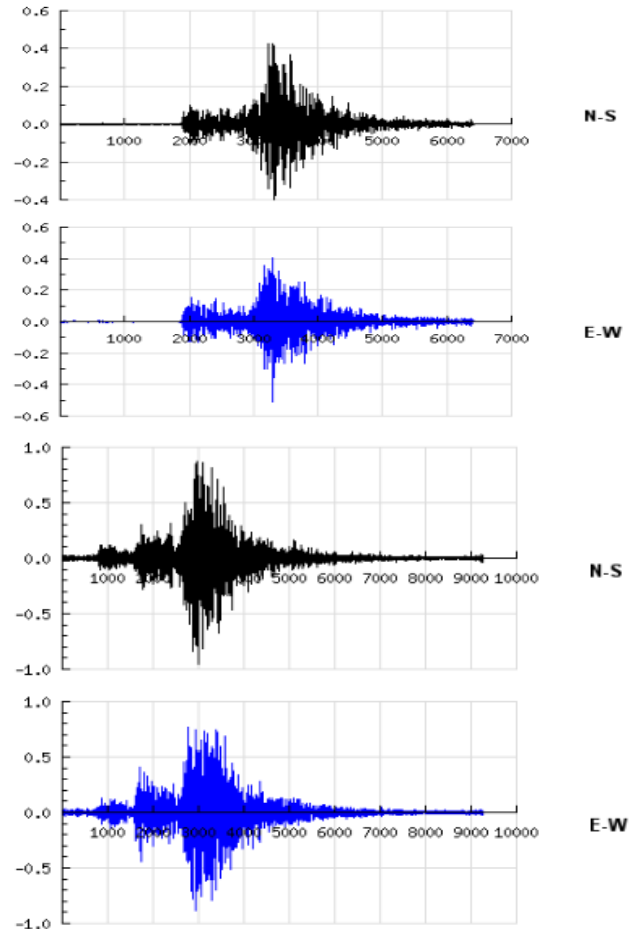
Şekil 5. E3 ve E4 deprem ivme grafikleri.



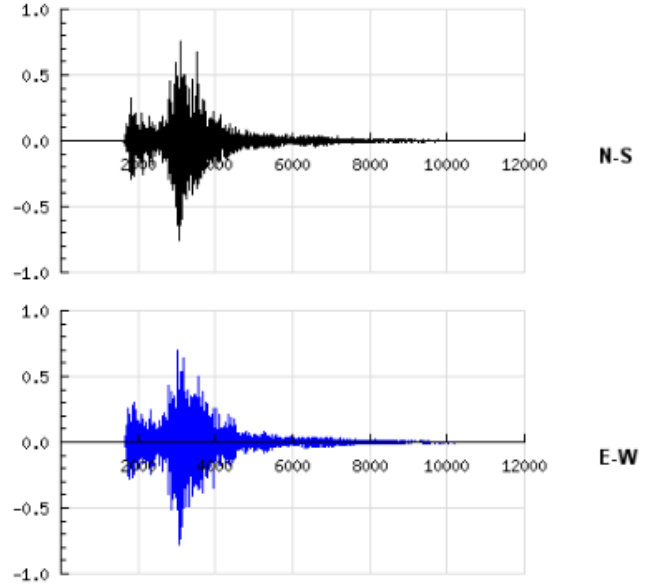
Şekil 6. E5 ve E6 deprem ivme grafikleri.



Şekil 7. E7 ve E8 deprem ivme grafikleri.



Şekil 8. E9 ve E10 deprem ivme grafikleri.



Şekil 9. E11 deprem ivme grafiği.

2.1.3. Betonarme Yapı Yük Kombinasyonları

Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir:

- 1) $1,4D + 1,6Q$
- 2) $D + L \pm E$
- 3) $0,9D \pm E$
- 4) $D + 1,3L \pm W_x$
- 5) $D + 1,3L \pm 1,3W_y$
- 6) $0,9D \pm 1,3W_x$
- 7) $0,9D \pm 1,3W_y$

Yapıya etkilenecek olan her bir deprem kaydı için ayrı kombinasyonlar oluşturulmuştur ve en kritik olan kombinasyona göre yapı elemanları boyutlandırılmıştır.

2.1.4. Yapı Analiz Sonuçları

2.1.4.1. Periyot ve Kütle Katılım Oranları

Yapı periyodu $T = 0,466s$ olarak bulunmuştur. Kütle katılım oranı ise Tablo 4'te görüldüğü gibi TBDY 2018'e göre %95 kütle katılım oranını sağlamıştır.

2.1.4.2. Görelî Kat Ötelemeleri

Yapı bulunduğu yere göre görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı TBDY 2018'de yer alan formüllere göre $\lambda=0,378$ olarak hesaplanmıştır. İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı, TBDY 2018'e göre yapı betonarme olduğundan dolayı $\kappa = 1$ olarak alınmıştır. Buna

göre TBDY 2018'e göre görelî kat ötelemeleri kontrolü yapılmış ve Tablo 5'te sunulmuştur. Her bir kat için bulunan deplasman değerleri 0,008 sınırının altında kalmıştır.

Yapı tepe noktasında oluşan maksimum deplasman $D + L + Ex_5$ kombinasyonuna göre 0,0861 m olmaktadır. Bu deplasman değeri toplam yapı yüksekliğinin 1/500'ünün altında kalmaktadır.

$$0,0861m < 44,4m/500=0,0888m$$

Tablo 4. Yapı periyot ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot	Ux	Uy	TOPLAM	
				Ux	Uy
1	0,466	0	74,7	0	74,7
2	0,466	74,7	0	74,7	74,7
3	0,435	0	0	74,7	74,7
4	0,144	0	0	74,7	74,7
5	0,14	13,7	1,3	88,4	76
6	0,14	1,3	13,7	89,7	89,7
7	0,085	0	0	89,7	89,7
8	0,081	0	0	89,7	89,7
9	0,074	1,2	0,9	90,9	90,6
10	0,074	0,9	1,2	91,8	91,8
11	0,071	1,6	1	93,4	92,8
12	0,071	1	1,6	94,4	94,4
13	0,07	0	0	94,4	94,4
14	0,065	0	0	94,4	94,4
15	0,064	0	0	94,4	94,4
16	0,061	0	0	94,4	94,4
17	0,061	0	0	94,4	94,4
18	0,06	0	0	94,4	94,4
19	0,056	0	0	94,4	94,4
20	0,053	0	0	94,4	94,4
21	0,051	0	0	94,4	94,4
22	0,051	0	0	94,4	94,4
23	0,05	0	0	94,4	94,4
24	0,049	1,9	0,2	96,3	94,6
25	0,049	0,2	1,9	96,5	96,5
26	0,047	0	0	96,5	96,5
27	0,046	0	0	96,5	96,5
28	0,046	0	0	96,5	96,5
29	0,046	0	0	96,5	96,5
30	0,046	0	0	96,5	96,5
31	0,044	0	0	96,5	96,5
32	0,044	0	0	96,5	96,5
33	0,044	0	0	96,5	96,5
34	0,042	0	0	96,5	96,5
35	0,042	0	0	96,5	96,5
36	0,04	0	0	96,5	96,5
37	0,039	0	0	96,5	96,5
38	0,039	0	0	96,5	96,5
39	0,038	0	0	96,5	96,5
40	0,038	0	0	96,5	96,5

2.1.4.3. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkilerinin hesabında kullanılan ampirik katsayı yapı betonarme olduğundan dolayı $C_h = 0,5$, dayanım fazlalığı katsayısı $D = 2,5$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=7$ olarak belirlenmiştir. Buna göre TBDY 2018'e göre ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiş ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. İkinci mertebe gösterge değeri sınır koşulu olan 0,086 değerinin altında kalmıştır. Sonuç olarak iç kuvvetlerin ikinci mertebe büyütme katsayısı ile büyütülmesine gerek duyulmamıştır.

Tablo 6. İkinci mertebe etkileri kontrolü.

KAT	hi (m)	Δi_{ort} (m)	wk.i (kN)	$\Delta wk.i$ (kN)	Vi (kN)	$\theta_{1,i}$
1	3,7	0,0065195	12468,817	12468,817	-130638,819	0,000168177
2	3,7	0,0075128	12468,817	24937,634	-129882,501	0,000389856
3	3,7	0,0080837	12648,764	37586,398	-163096,52	0,000503494
4	3,7	0,00838	12738,737	50325,135	-151419,102	0,000752743
5	3,7	0,0084406	12818,714	63143,849	-152230,817	0,000946237
6	3,7	0,0084178	12818,714	75962,563	-125465,161	0,001377442
7	3,7	0,0081204	12738,737	88701,3	-189017,966	0,001029918
8	3,7	0,0076226	12738,737	101440,037	-80874,863	0,002584028
9	3,7	0,0070109	12738,737	114178,774	-51612,285	0,004191837
10	3,7	0,0063202	12738,737	126917,511	-37840,501	0,005729197
11	3,7	0,0054862	12738,737	139656,248	-18699,343	0,011073985
12	3,7	0	12468,817	152125,065	-43894,383	0

2.1.4.4. Betonarme Yapı Maliyet Hesabı

Yapı analiz sonucu yapıda toplamda 6086,8 m³ beton, 956,07 ton donatı ve 28819,52 m² kalıp kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 5. Betonarme yapı görelî kat ötelemeleri kontrolü.

KAT	DEPLASMAN		AZALTI MIŞ GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (Δi)		ETKİN GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (δi)		$\lambda^*(\delta i / h_i)$	
	(14E) D+L-Ex5	(15E) D+L-Ey5	X	Y	X	Y	X	Y
	X	Y						
1	0,0041872	0,0041872	0,0065195	0,0065195	0,0456365	0,0456365	0,004662324	0,004662324
2	0,0107067	0,0107067	0,0075128	0,0075128	0,0525896	0,0525896	0,005372667	0,005372667
3	0,0182195	0,0182195	0,0080837	0,0080837	0,0565859	0,0565859	0,005780938	0,005780938
4	0,0263032	0,0263032	0,00838	0,00838	0,05866	0,05866	0,005992832	0,005992832
5	0,0346832	0,0346832	0,0084406	0,0084406	0,0590842	0,0590842	0,00603617	0,00603617
6	0,0431238	0,0431238	0,0084178	0,0084178	0,0589246	0,0589246	0,006019865	0,006019865
7	0,0515416	0,0515416	0,0081204	0,0081204	0,0568428	0,0568428	0,005807183	0,005807183
8	0,059662	0,059662	0,0076226	0,0076226	0,0533582	0,0533582	0,005451189	0,005451189
9	0,0672846	0,0672846	0,0070109	0,0070109	0,0490763	0,0490763	0,005013741	0,005013741
10	0,0742955	0,0742955	0,0063202	0,0063202	0,0442414	0,0442414	0,004519797	0,004519797
11	0,0806157	0,0806157	0,0054862	0,0054862	0,0384034	0,0384034	0,003923374	0,003923374
12	0,0861019	0,0861019						

Tablo 7. Betonarme yapı malzeme listesi.

PROFİL		HACİM	DONATI	KALIP
		m ³	ton	m ²
KİRİŞ	50/60	1356	376,29	6147,2
	60/80	211,2	41,514	774,4
	70/80	44,8	8,436	147,2
KOLON	100/100	1820,4	332,997	7281,6
DÖŞEME	18cm	1944	174,195	11059,2
PERDE	40cm	710,4	22,638	3409,92
TOPLAM		6086,8	956,07	28819,52

Betonarme kesitler için 3 farklı poza ait değerler kullanılacaktır. Birinci poz beton, ikinci poz donatı, üçüncü poz ise kalıp için kullanılacaktır. Betonarme pozuna ait(Y.16.050/17) fiyat 196,40 TL/m³ olarak, donatı pozuna ait(Y.23.016) fiyat 2469,63 TL/ton olarak, kalıp pozuna ait(Y.21.001/03) fiyat 39,63 TL/m² olarak alınmıştır. Fiyatlar 2017 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatlarından alınmıştır.

Beton için hesaplanan maliyet 1195448 TL, donatı için hesaplanan maliyet 2361139 TL, kalıp için hesaplanan maliyet 1142118 TL'dir. Sonuç olarak betonarme yapı malzeme toplam maliyeti 4698704 TL olarak bulunmaktadır.

2.2. Çelik Yapı

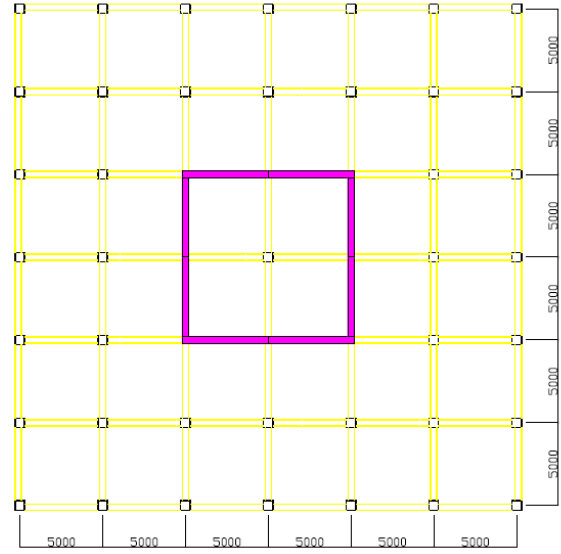
2.2.1. Yapı Taşıyıcı Sistemi

Yapı ana taşıyıcı sistemi planda binanın orta noktasında yer alan betonarme perdeler ve çelik çerçeve sistem ile oluşturulmuştur. Yapıda betonarme binada olduğu gibi binanın deprem yüklerini güvenli ve sürekli bir şekilde zemine kadar aktarabilecek yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmaktadır. Yapı geometrisi betonarme bina ile aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapının planı Şekil 10'da, 3 boyutlu modeli Şekil 11'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

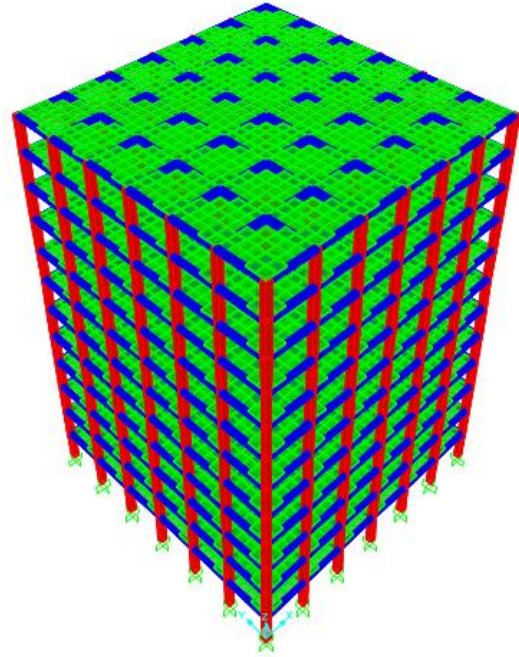
Çelik yapı taşıyıcı sisteminde döşemeler kompozit olarak tasarlanmıştır. Döşemelerde trapez sac ve betonarme birlikte çalışmaktadır fakat aralarında yeterli aderansı sağlamak için kayma kamaları kullanılmıştır. Merkezi betonarme perdeler betonarme yapıda olduğu gibi 40 cm olarak hesaplanmıştır. Tipik kolon boyutu RHS60x60x2,5 kutu profil, tipik ana kiriş boyutları ise RHS40x40x2,5 ve RHS40x40x4 kutu profildir. Kolon ve kirişler için kullanılan çelik kalitesi S355'tir. Perde ve döşemeler için kullanılan beton C35'tir.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=6, dayanım

fazlalığı katsayısı D=2,5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 10. Çelik yapı 1.kat planı.



Şekil 11. Çelik yapı 3 boyutlu modeli.

2.2.2. Yapı Yüklemeleri

Çelik yapı yüklemesinde yapı öz yükleri sonlu elemanlar programı ile profil özgül ağırlıkları otomatik olarak etkilmiştir. Çelik yapı ve betonarme yapı aynı amaçlar için kullanılacağından dolayı hareketli yük, rüzgar yükü ve deprem yükü betonarme bina ile aynı alınacaktır. Bu yük değerleri betonarme bina yük bölümünde verilmiştir.

2.2.3. Çelik Yapı Yük Kombinasyonları

Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir.

- 1) D + L
- 2) D + L ± W_x
- 3) D + L ± W_y
- 4) D + L ± E_x
- 5) D + L ± E_y

Yapıya etkilecek olan her bir deprem kaydı için ayrı kombinasyonlar oluşturulmuştur ve en kritik olan kombinasyona göre yapı elemanları boyutlandırılmıştır.

2.2.4. Yapı Analiz Sonuçları

2.2.4.1. Periyot ve Kütle Katılım Oranları

Yapı periyodu T=0,477s olarak bulunmuştur. Kütle katılım oranı ise TBDY 2018'e göre %95 kütle katılım oranını sağlamıştır. Sonuçlar Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. Yapı periyot ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyod	U _x	U _y	TOPLAM	
				U _x	U _y
1	0,477	56,3	14,2	56,3	14,2
2	0,477	14,2	56,3	70,5	70,5
3	0,373	0	0	70,5	70,5
4	0,13	2,7	15,7	73,2	86,2
5	0,13	15,7	2,7	88,9	88,9
6	0,124	0	0	88,9	88,9
7	0,095	0	0	88,9	88,9
8	0,089	0	0,2	88,9	89,1
9	0,089	0,2	0	89,1	89,1
10	0,085	0	0	89,1	89,1
11	0,08	0	0	89,1	89,1
12	0,075	0	0	89,1	89,1
13	0,074	0	0	89,1	89,1
14	0,074	0	0	89,1	89,1
15	0,071	0	0	89,1	89,1
16	0,064	0	0	89,1	89,1
17	0,064	0,1	5,1	89,2	94,2
18	0,064	5,1	0,1	94,3	94,3
19	0,063	0	0	94,3	94,3
20	0,059	0	0	94,3	94,3
21	0,059	0	0	94,3	94,3
22	0,057	0	0	94,3	94,3
23	0,054	0	0	94,3	94,3
24	0,052	0	0	94,3	94,3
25	0,051	0	0	94,3	94,3
26	0,051	0	0	94,3	94,3
27	0,051	0	0	94,3	94,3
28	0,048	0	0	94,3	94,3
29	0,048	0	0	94,3	94,3
30	0,048	0	0	94,3	94,3
31	0,046	0	0	94,3	94,3
32	0,045	0	0	94,3	94,3
33	0,044	0	0	94,3	94,3
34	0,043	0	0	94,3	94,3
35	0,043	0,9	0,3	95,2	94,6
36	0,043	0,3	0,9	95,5	95,5
37	0,043	0,1	0,6	95,6	96,1
38	0,043	0,6	0,1	96,2	96,2
39	0,042	0	0	96,2	96,2
40	0,042	0	0	96,2	97,5

2.2.4.2. Görelî Kat Ötelemeleri

Yapı bulunduğu yere göre görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı TBDY 2018'de yer alan formüllere göre $\lambda=0,378$ olarak hesaplanmıştır. İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı, TBDY 2018'e göre yapı çelik olduğundan dolayı $\kappa=0,5$ olarak alınmıştır. Buna göre TBDY 2018'e göre görelî kat ötelemeleri kontrolü yapılmış ve deplasmanlar 0,004 sınırının altında kalmıştır. Sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

Yapı tepe noktasında oluşan maksimum deplasman D+L-E_{x5} kombinasyonuna göre 0,072 m olmaktadır. Bu deplasman toplam yapı yüksekliğinin 1/500'ünün altında kalmaktadır.

$$0,072m < 44,4m/500=0,0888m$$

2.2.4.3. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkilerinin hesabında kullanılan ampirik katsayı yapı çelik olduğundan dolayı C_n=1, dayanım fazlalığı katsayısı D=2,5, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=6 olarak belirlenmiştir. Buna göre TBDY 2018'e göre ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiş ve ikinci mertebe gösterge değeri sınır koşulu olan 0,05 değerinin altında kalmıştır. Sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Sonuç olarak iç kuvvetlerin ikinci mertebe büyütme katsayısı ile büyütülmesine gerek duyulmamıştır.

Tablo10. İkinci mertebe etkileri kontrolü.

KAT	h _i (m)	Δ _{i,ort} (m)	w _{k,i} (kN)	Δw _{k,i} (kN)	V _i (kN)	θ _{ii,i}
1	3,7	0,0050375	7412,105	7412,105	73320,308	0,0001376
2	3,7	0,0062234	7412,105	14824,21	75530,998	0,0003301
3	3,7	0,0061506	7412,105	22236,315	93960,116	0,0003934
4	3,7	0,0062095	7412,105	29648,42	91762,742	0,0005422
5	3,7	0,0062242	7473,991	37122,411	87957,443	0,00071
6	3,7	0,0061017	7473,99	44596,401	79466,902	0,0009255
7	3,7	0,0062151	7473,991	52070,392	98373,452	0,0008891
8	3,7	0,0062384	7473,991	59544,383	45933,226	0,0021857
9	3,7	0,0062199	7473,991	67018,374	37712,384	0,0029874
10	3,7	0,0061807	7473,991	74492,365	24692,647	0,0050394
11	3,7	0,0062353	7473,991	81966,356	13718,523	0,0100689
12	3,7	0	7412,104	89378,46	21820,093	0

2.2.4.4. Çelik Yapı Maliyet Hesabı

Yapı analiz sonucu yapıda toplamda 2466,689 ton çelik kullanılmıştır. Bu tonajın %5'i bağlantı elemanları için eklenmiştir. Döşeme ve perdeler için toplam 2654,4 m³ beton, 196,833 ton donatı, 14469,12 m² kalıp kullanılmıştır.

Tablo 9. Çelik yapı görel kat ötelemeleri kontrolü.

KAT	DEPLASMAN		AZALTIŞ GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (Δ_i)		ETKİN GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ (δ_i)		$\lambda^*(\delta_i / h_i)$	
	(4E) D+L-Ex5	(5E) D+L-Ey5	X	Y	X	Y	X	Y
1	0,0052037	0,0052037	0,0050375	0,0050375	0,030225	0,030225	0,0032267	0,0032267
2	0,0102412	0,0102412	0,0062234	0,0062234	0,0373404	0,0373404	0,0039863	0,0039863
3	0,0164646	0,0164646	0,0061506	0,0061506	0,0369036	0,0369036	0,0039397	0,0039397
4	0,0226152	0,0226152	0,0062095	0,0062095	0,037257	0,037257	0,0039774	0,0039774
5	0,0288247	0,0288247	0,0062242	0,0062242	0,0373452	0,0373452	0,0039869	0,0039869
6	0,0350489	0,0350489	0,0061017	0,0061017	0,0366102	0,0366102	0,0039084	0,0039084
7	0,0411506	0,0411506	0,0062151	0,0062151	0,0372906	0,0372906	0,003981	0,003981
8	0,0473657	0,0473657	0,0062384	0,0062384	0,0374304	0,0374304	0,0039959	0,0039959
9	0,0536041	0,0536041	0,0062199	0,0062199	0,0373194	0,0373194	0,0039841	0,0039841
10	0,059824	0,059824	0,0061807	0,0061807	0,0370842	0,0370842	0,003959	0,003959
11	0,0660047	0,0660047	0,0062353	0,0062353	0,0374118	0,0374118	0,003994	0,003994
12	0,07224	0,07224						

Tablo 11. Çelik yapı malzeme listesi.

PROFİL	AĞIRLIK ton	PROFİL	HACİM m ³	DONATI ton	KALIP m ²		
						KİRİŞLER	RHS40x40x2,5
	RHS40x40x4	126,5894	PERDE	40cm	710,4	22,638	3409,92
KOLON	RHS60x60x2,5	821,5834					
BAĞLANTI ELEMENLARI		117,4614					
TOPLAM		2466,689	TOPLAM		2654,4	196,833	14469,12

Çelik profiller için ilgili poza ait(Y.23.101) fiyat 4689,43 TL/ton olarak alınmıştır. Betonarme pozuna ait (Y.16.050/17) fiyat 196,40 TL/m³ olarak, donatı pozuna ait (Y.23.016) fiyat 2469,63 TL/ton olarak, kalıp pozuna ait (Y.21.001/03) fiyat 39,63 TL/m² olarak alınmıştır. Fiyatlar 2017 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatlarından alınmıştır.

Kiriş ve kolon profilleri için yapı maliyeti 11567365,4 TL olarak bulunmaktadır. Beton için hesaplanan maliyet 521324,16 TL, donatı için hesaplanan maliyet 486104,68 TL, kalıp için hesaplanan maliyet 573411 TL'dir. Sonuçlar Tablo 11'de verilmiştir.

Sonuç olarak çelik yapı için toplam maliyet 13148205,24 TL'dir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmaya göre Çanakkale ili Ayvacık ilçesine yapılacak olan 12 katlı bir yapının betonarme ve çelik sistem davranışları ayrı ayrı incelenmiş, zaman tanım alanında doğrusal analizleri yapılmış ve TBDY 2018'e göre kontrolleri yapılmıştır. Yapı sistemindeki tüm kesitler sistem analizlerini kurtaracak en uygun kesitler seçilmiştir. Bu şekilde yapılan yapı tasarımlarında betonarme yapı sistemi çelik yapı sisteminden 6,4 ton daha ağır bulunmaktadır. Bu sonuçlar zemin gerilmelerini etkilediğinden dolayı çelik yapıda daha yüksek katlara çıkma imkanı betonarme yapıya göre daha yüksektir.

Her iki yapı için de 40 mod göz önüne alınmıştır. Betonarme yapı kütle katılım oranı 96,5, çelik yapı kütle katılım oranı 96,2 olarak bulunmuştur. Mod şekilleri göz

önüne alındığında her iki yapının benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür.

Betonarme yapı taban kesme kuvveti 130638,82kN, çelik yapı taban kesme kuvveti 69348,32kN olarak bulunmuştur. Bu durumda betonarme yapı üzerine gelen deprem kuvveti çelik yapı üzerine gelen deprem kuvvetine göre daha fazladır.

Betonarme yapı en üst kat uç nokta maksimum deplasmanı 86 mm, çelik yapının ise 72,2 mm olarak bulunmuştur. Her iki değer de deplasman koşullarını sağlamaktadır.

Maliyet hesaplarına göre betonarme yapı yaklaşık maliyeti 4,69 milyon TL, çelik yapı yaklaşık maliyeti 13,15 milyon TL olarak bulunmuştur. Buna göre bu bölgede yapılacak yapılarda çelik kullanılması maliyet açısından ekonomik değildir.

Yapım kolaylığı olarak çelik yapı betonarme yapıya göre yapım kolaylığı oldukça fazladır. Bunun nedeni betonarme yapının tüm aşamalarının sahada, çelik yapının ise çok büyük bir kısmının atölyede gerçekleşecek olmasıdır. Bu şekilde çelik yapı dış etkenlerden etkilenmeyerek yapımı daha hızlı ve kolay olacaktır. Malzeme maliyeti olarak betonarme yapı daha uygun bulursa dahi çelik yapının yapım süresi daha az olacağından diğer giderler (kira kaybı, işçi ücretleri vs.) toplam maliyeti etkileyecektir.

Kaynaklar

- [1] TBDY, 2018. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Türkiye Bina Deprem

Yönetmeliği.

- [2] Mertol A., Mertol H.C., 2002. Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 1. Baskı, Antalya.
- [3] Ozturk B., 2003. Seismic drift response of building structures in seismically active and near-fault regions. PhD Thesis, Purdue University, Dept. Of Civil Engineering.
- [4] TS498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] Beyen K., 2005. Hasar tanılama analizlerinde frekans-zaman çözümlemesi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim.
- [6] TS-500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [7] TS-648, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [8] RYTEİE, 2013. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [9] Stafford S. B., Coull A., 1991. Tall Building Structures: Analysis and Design, Wiley-Interscience.
- [10] Çakıroğlu A., Özer E., 1983. Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri. Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti., İstanbul.
- [11] Arda T. S., Yardımcı N., 2000. Çelik Yapıda Karma Elemanları Plastik Hesabı. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [12] Odabaşı Y., 2000. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları. Beta Dağıtım, İstanbul.



JIT (Just-In-Time) Yaklaşımından JIS (Just-In-Sequence) Yaklaşımına Geçiş ve JIS'in Otomobil Endüstrisinde Modellenmesi

Transition from JIT (Just-In-Time) Approach to JIS (Just-In-Sequence) Approach and Modeling of JIS in Automobile Industry

Kübra SARIKAYA^{1,*}

¹ Endüstri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8505-3811

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 06/03/2019

Kabul Tarihi : 14/05/2019

Anahtar Kelimeler

JIS
JIT
Otomotiv Endüstrisi
Tedarik Zinciri

Research Paper

Received Date : 06/03/2019

Accepted Date : 14/05/2019

Keywords

JIS
JIT
Automotive Industry
Supply Chain

Özet

Gelişen sanayileşme ve teknolojinin, yüksek rekabet ve artan talepleri beraberinde getirmesiyle, otomotiv endüstrisi de diğer endüstriler gibi kendisini geliştirmek için bazı stratejiler oluşturmak zorunda kalmıştır. Bu stratejiler içerisinde en önemlilerinden birisi olan JIT (Just-in-Time) 40 yıl kadar önce büyük şirketlere destek vermek ve rekabet güçlerini arttırmak için Japonya'da uygulanmaya başlanmıştır. Fakat zamanla, JIT prosesindeki lojistik ve stok yönetiminin, özellikle tedarikçi sayısı arttıkça meydana getirdiği karmaşayı önlemek için, yeni bir yaklaşım olan JIS (Just-in-Sequence) geliştirilerek JIT'in daha efektif bir şekilde uygulanması amaçlanmıştır. Günümüzde otomobil sektöründe kullanılan JIS yaklaşımı, daha düzenli ve verimli bir tedarikçi besleme ağı yaratmaktadır. Bu çalışmada, JIT yaklaşımından JIS yaklaşımına geçişin nasıl olduğu, JIS yaklaşımının farklı tedarikçi ağlarında nasıl uygulandığı, uygulanması için gerekli sistemleri, matematiksel modelleme çalışmasının nasıl olduğu ve ana fabrikada uygulanabilecek JIT ve JIS proseslerinin farklı kriterler ışığında incelenmesi yapılacaktır.

Abstract

With developing industrialization and technology leading to high competition and increasing demands, the automotive industry, like other industries, has had to formulate strategies to improve itself. One of the most important of these strategies, JIT (Just-in-Time), started to be implemented in Japan 40 years ago to support big companies and increase their competitiveness. However, over time, a new approach, JIS (Just-in-Sequence), has been developed to implement JIT more effectively, in order to avoid the complexity of logistics and inventory management in the JIT process, especially as the number of suppliers increases. The JIS approach used in the automobile industry today creates a more regular and efficient supplier supply network. In this study, how the transition from JIT approach to JIS approach, how JIS approach is applied in different supplier networks, how to apply the system, mathematical modeling study and JIT and JIS processes that can be applied in the main factory will be examined in the light of different criteria.

1. Giriş

Üretim yapan firmaların tedarik zincirlerinde bitmiş ürünlerin oluşturulması için, ham madde veya yarı mamüllerin firmalara yaptığı hareketleri belirleyen lojistik prosesleri geliştirilmiştir. Büyük ölçüde maliyet verimliliği

sağlayan JIT prosesi esneklik ve güvenilirlik açısından, bugünlerde büyük önem taşımaktadır.

JIT felsefesi 1970'lerde Japonya tarafından kullanılmaya başlanmıştır ve genel olarak bu felsefeye göre; müşterinin sipariş ettiği miktar kadar üretim yapılmalıdır, hurda oranları her zaman sifıra yakın olmalıdır, üretim için yapılan hazırlık zamanları kısa olmalıdır, üretimin hızı çalışan tüm birimlerde talep

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): kubrasarikaya37@gmail.com



değişimlerine çok hızlı ve esnek olarak uyum sağlamalıdır, kayıplar sıfır olmalıdır, ilgili personellerin eğitimlerine çok önem verilmelidir [1].

Tedarikçi stratejileri, lojistik stratejilerinin bir parçası niteliğindedir. Lojistik stratejilerinin en önemli görevleri; üretim ve lojistik kaynaklarının kapasite kullanımının artırılması, verimsizlik zamanının kısaltılması, tedarik edememe riskini arttırmadan süreç içi envantere azaltılması, üretim ve lojistik süreçlerin işletme maliyetlerinin azaltılması, müşterinin taleplerini cevaplamak için esnekliğin artırılması, yalın araçların verimliliğini desteklemek için süreçlerin şeffaflığının artırılması, üretim süreçlerinin ERP ile bütün kurumsal süreçte entegrasyonu olarak sayılabilir [2].

Bir işletmede malzeme planlaması yapılırken üretim ve ilgili lojistik süreçlerindeki maliyet yapısının iyileştirilmesi arzulmaktadır ve bu nedenle nakliye, depolama ve malzeme taşıma süreçlerindeki harcamalar azaltılmak istenmektedir. Bu amaçları gerçekleştirmek için, en önemli yalın üretim aracı olan JIT, 7D-7 Doğru (7R-7 Right) kuralının temeli kabul edilerek uygulanmıştır. Günümüzde ise özellikle otomotiv sektöründe JIT sistemi yerini JIS'e bırakmıştır. JIS, JIT'in 7D kuralını bünyesinde barındırmak ile beraber, istenilen ürün dizgisini de sağlamaktadır.

Bu çalışmada birinci bölümde, daha önce bu konularda yapılan çalışmalara yer verilecektir. İkinci bölümde, metodlar sırasıyla JIT, JIS ve bu felsefelerin karşılaştırılmasına yer verilecektir. Üçüncü bölümde ise uygulama anlatılacaktır. Öncelikle JIS matematik modeli anlatılarak, sonrasında sistemin çalıştırılması için gerekenler ve ana fabrikanın JIS sistemi ve JIT sistemini uygularken ihtiyaçları karşılaştırılacaktır. Dördüncü bölümde, sonuçlar belirtilerek ve değerlendirme yapılacaktır.

JIS'in yalın üretimde kullanılması, artan üretim ihtiyacı ve lojistik alanındaki karmaşıklaktan kurtulmak, günümüz otomotiv sektöründe verimliliği ve zaman tasarrufunu sağlamak için gerekli hale gelmiştir. JIS metodu, günümüze kadar farklı çalışmaların konusu olmuştur.

Werner ve ark., 2003'te otomotiv endüstrisi tarafından kullanılan JIS felsefesinin, müşteri odaklı üretimin giderek yaygınlaşması ve öneminin artışı ile entegre organizasyon araçları ve elektronik sektörlerinde uygulamasını yapmışlardır. JIS burada malzeme tedarikini geliştirmek için kullanılmıştır [3].

Schmitz ve Shin, 2007'de otomotiv endüstrisinde kullanılan çok tedarikçili klasik tedarikçi parklarını anlatarak, ana firmanın tedarik zorlukları ile nasıl başa

çıkıldığını, klasik tedarikçi parklarında yaşanan zorlukları ve bunların üstesinden gelmek için genişletilmiş yeni tedarikçi parklarının nasıl olması gerektiğini ve yararlarını anlatmaktadır [4].

Hüttmeir ve ark., 2009'da, yalın üretim felsefelerinden birisi olan Heijunka ile JIS felsefelerini, ekstra iş ve alan maliyetleri gibi konularda karşılaştırarak, bir BMW motor tesisinde iki yaklaşımın simülasyon tabanlı model sonuçlarını açıklamışlardır [5].

Wagner ve Silveira-Camargos, 2010'da, JIS ile üretim yapan bir firma için artan değişkenlik maliyetleri ve lojistik maliyetleri ile mücadele etmenin zorlukları konu edilmiştir. Bu zorluklarla mücadelede geçmişten günümüze JIT metodolojisinin kullanımı ve JIS için karar modeli oluşturularak çözümler maliyet azaltıcı yönde yapılmaya çalışılmıştır [6].

Heinecke ve ark., 2013'te, müşteriye yapılan sevkiyatlardaki güvenilemeyen JIS durumlarında, karma modellenli montaj hatları için uzman tedarik zinciri bilgi zincirini inceleyerek, sıralamalarda meydana gelen değişikliklerin gerçek sisteme kısa sürede adapte etmenin yöntemleri üzerinde durmuşlardır. Böylelikle doğru sıralama ve tedarik süreci ortaya konulması sağlanmıştır [7].

Boysen ve ark., 2013'teki çalışmalarında devam eden küreselleşme trendine bağlı olarak artan üretim çeşitliliği ile, tam zamanlı parça lojistiğinin günümüzde çok daha fazla önem kazanmasına bağlı olarak ortaya çıkan önemli karar problemlerini belirtmiş, mevcut literatürün araştırmasını yapmışlardır [8].

Banyai ve ark., 2017'de, JIS metodolojisinin tedarik zinciri içerisinde nasıl uygulandığını ve envanter sorunlarından kaçınmak ve günümüzün pazar durumunun kazananları olmak için imalat şirketlerinin tam zamanında tedarik stratejileri ile ağır stok seviyelerini azaltmaya çalışmasını anlatmaktadırlar [9].

Hofmann ve Rüsç, 2017'de, lojistik sektörde Endüstri 4.0'ın etkisinin lojistiğin şimdiki hali ve gelecekteki beklentisi ile karşılaştırma yapmışlardır. İncelenen felsefeler, KANBAN, JIT ve JIS başta olmak üzere bu felsefelerin dijital ortama geçişinin nasıl olduğudur [10].

Adelkovic, 2017'de, JIS prosesinin otomotiv sektöründe uygulanma örnekleri olan Avusturya ve Sırbistan'daki iki fabrikayı inceleyerek analizlerini karşılaştırmalı olarak yapmışlardır [11].

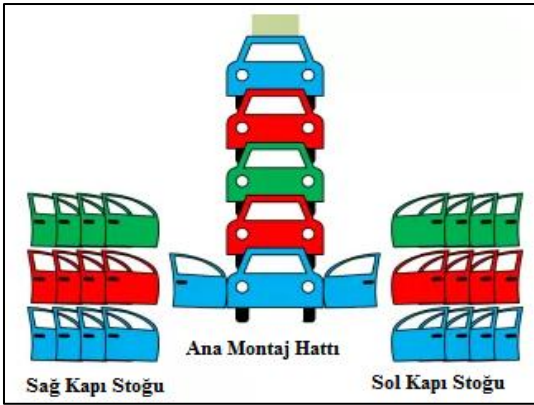
Falsafi ve ark., 2018'de, bir çok sektörden daha karmaşık olan otomotiv sektöründeki tedarik zinciri yönetiminin genel akışını yönetirken kullanılan tam zamanlı stratejilerde aksaklıkların izlenmesi ve yönetilmesi için stratejiler önermektedir [12].

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. JIT(Just-In-Time)

Just In Time, İkinci Dünya Savaşı'ı sonrasında Toyota Motors yöneticisi Taiichi Ohno'nun liderliğinde kullanılmaya başlanılan bir prensiptir. JIT, farklı sektörlerde faaliyetine devam eden şirketler için, personelleri geliştirip daha fazla faydayı hedef alırken değişkenlik oluşturan girdileri azaltarak kalite ile etkili bir stok yönetimi felsefesi oluşturmaktadır [8].

JIT felsefesi, bir arabaya yapılan kapı montajı ele alırsa Şekil 1'de görüldüğü gibi uygulanmaktadır. Bu felsefe gereği, farklı arabalar için kullanılmak üzere montajı yapılacak olan sağ ve sol kapı, şekildeki gibi montaj hattı kenarında belirli küçük stokların yapıldığı tampon bölgede bekletilerek, ana montaj hattında üretilecek nihai arabanın zamanı geldiğinde kullanılır. Böylelikle montaj hattına besleme yapılarak, tam olarak belirlenen zamanlarda üretim gerçekleştirilir.



Şekil 1. JIT felsefesi uygulanışı.

JIT temel olarak ürüne değer katmaya çalışır. Bu değere katkı yapmayan her unsur, israf olarak değerlendirilmektedir. Bu anlamda, JIT'in uygulanmasının temelinde israfı azaltarak, ürüne değer katmak amaçlanmaktadır. Bu değer arttırmanın yanı sıra, JIT felsefesinde insana saygı da önemli unsurlardan biridir. Temelde, JIT ile ulaşılmak istenen amaç, tam zamanında üretim yapılarak, her stok prensibinin aslında temelinde yatan, sıfır stok ile üretim yapabilmektir. Bu hedefi sıfır hata prensibi de desteklemektedir.

JIT prensibine göre yedi farklı israf tipi bulunmaktadır. Bu israflar sırasıyla; hatalı üretim, stok, hareket, taşıma, bekleme, süreç ve fazla üretimdir. Hatalı yapılan üretim, üretimin tekrarı yapılacağından emek, maliyet ve zaman kaybını beraberinde getirmektedir. Fazla üretim, ihtiyaç fazlası ürün anlamına gelmektedir ve bu üretim de stok tutmayı zorunlu hale getirerek, fazladan

stok maliyeti oluşturur. Stok, artı olarak bu stoğun tutulması için yer ve insan tahsis edilmesini içerdiğinden israf kategorisindedir. Bekleme, üretim yapılacak iken, zaman kaybı yaşanmasından dolayı önemli bir israftır. Gereksiz taşıma, ürüne herhangi bir değer katmadığı ve zaman kaybına neden olduğundan dolayı israftır. Gereksiz hareket, genelde düzgün yerleştirilmemiş işyerlerinde karşılaşılan zaman ve emek kaybına yol açan israftır. Süreç, gereksiz ve müşteriye değer katmayan işlemleri içerir. Bu israflar Şekil 2'de genel hatlarıyla görülmektedir.



Şekil 2. Yedi temel israf.

Tam zamanında üretime izin vermesi ve içerisinde barındırdığı yalın üretim felsefeleri ile JIT, günümüzde seri üretim yapan işletmelerde çokça kullanılmaktadır.

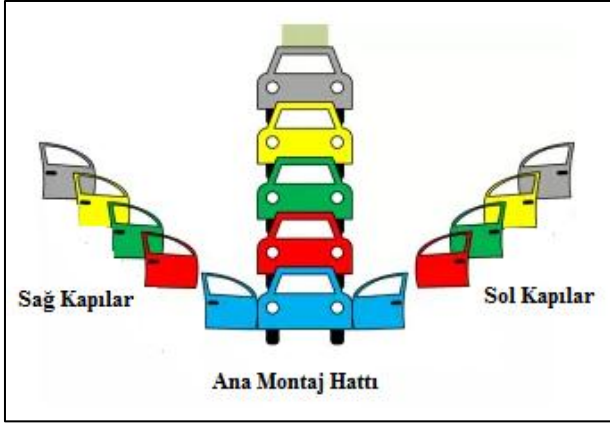
2.2. JIS (Just-In-Sequence)

Just In Sequence, yerli söylemde “zamanında sıralama” terimi ile ifade edilebilir. JIS, montaj hattında oluşan değişimlere uyum sağlayabilen ve JIT ile bu anlamda eşleşen bir stok stratejisidir. Daha çok yüksek çeşitlilik ve düşük hacimdeki üretimleri desteklemek için kullanılmaktadır. Temel olarak, üretim için ihtiyaç duyulan parçalar ve bileşenler, ihtiyaç duydukları sırayla teslim edilir. Bileşenleri monte eden kişi farklı parçalardan seçim yapmak zorunda değildir ve montaj için tedarik kuyruğundaki bir sonraki parçayı seçer [13].

Üretilecek parça içerisinde bulunacak olan parça ve alt parçalar montaj hattına tam zamanında gönderilir. Üretim hattındaki geri besleme, işlem alanını ve bölgeden ulaştırmayı koordine etmek için kullanılır. Başarılı bir şekilde uygulandığında, JIS esneklik, kalite veya genel verimlilik kaybı olmadan üretimin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır ve günümüzde otomobil sektöründe kullanılmaktadır.

Temelde JIS prosesi, JIT sistemini başarıya ulaştırmak için geliştirilen bir stratejidir. JIS, JIT felsefesinde tampon bölge olarak görülen ve malzemelerin hatta beslenmek için biriktiği kısımları atık olarak görür. Amaç, bu tampon bölgelerini ortadan kaldırmaktır. JIS,

bileşenlerin tüketim için sıralandığı ve JIT felsefesi konseptinin en uç uygulamalarından biridir.



Şekil 3. JIS Felsefesi uygulaması.

Sıralama, işletmenin tedarik tamponlarının en aza indirilmesine imkan sağlar. JIS felsefesinin en kullanışlı kısmı üretim çeşitliliğine tam uyum sağlayabilir oluşudur. Eğer planlanan üretim çeşitliliğinde sıralama gerçekleştirilemezse, bileşenler tamponlarda stoklanabilir. Modern bir otomotiv montaj hattı gibi esnek üretim hatları için çeşitlilik, doğrudan müşteri siparişlerinde üretim yapmaktır. Bu üretim, fabrika içerisinde bulunan sıralama programcısı ve müşteriden gelen EDI (Electronic Data Interchange-Elektronik Veri Değişimi) ile gerçekleştirilir. Bir sonraki sipariş işleme ulaşır ulaşmaz programlayıcı, tedarik siparişlerini nihai üretim hattının üretim sırası ile seri olarak dağıtır. Böylelikle, sıfır ara tampon, doğru sıralama ve zamanında üretim felsefesi ile üretim gerçekleştirilir [6].

JIS üretim felsefesinin nasıl uygulandığı Şekil 3'te otomotiv sektörü için görülmektedir. Ana montaj hattında üretilen araç için, hangi aracın montaj hattında olduğu bilgisi kapı tedarikçisine elektronik ortamda verilir. Bunun sonucunda tedarikçi, bu sıralamaya göre kapıları sırasıyla üretir ve hatta teslim eder. Böylelikle hem tam zamanında üretim gerçekleştirilir hem de ara tampon stoklarının kullanımına gerek kalmaz.

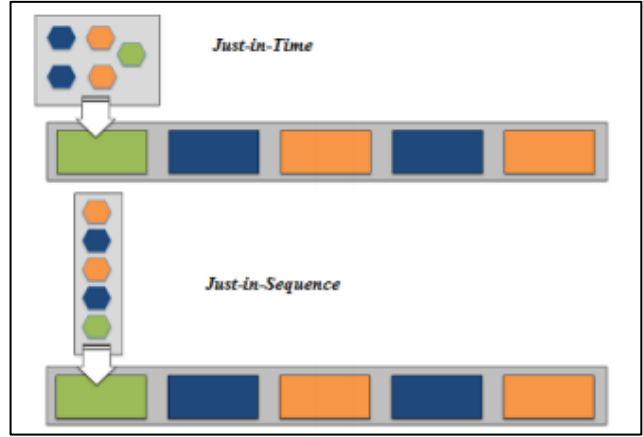
2.3. JIT ve JIS'in Karşılaştırılması

Yedi israfta da belirtildiği gibi, JIT felsefesi, envanter depolama gibi israfa yol açan unsurları barındırmamak ile birlikte, bunları bir atık olarak görmektedir. Fazla olmayan stok, üretim faaliyetlerinin daha etkin olmasını sağlar fakat bunun yanında öngörülmeleyen bir üretim durumunda sıkıntı yaratabilmektedir.

Otomotiv sektöründe, JIT üretim günümüzde

özellikle de Japon felsefesi ile çalışan işletmelerde yaygınlaştırmaktadır. Bu felsefe içeriğinde, tedarikçilerden alınan belirli kütellerdeki ham maddeler, belirlenen proseslerde işlenerek bir bakımdan çekme sistemi oluşturulur ve böylelikle tam zamanında üretim gerçekleştirilmeye çalışılır. Bu sistem esnasında, gelen ham madde veya yarı mamül, ana montaj hattına girene kadar üretici firmanın ambarında beklemektedir. Bu durum üretici için ekstra israf unsuru ve maliyet oluşturmaktadır.

Güncel şartlarda, bu bilgiler ışığında, tedarikçinin zamanında mamülü teslim etmesi sırasında hızlı olup olmaması, üretici için depolama maliyetleri konusundaki israfa engel olmayacaktır. Bu israfın engellenmesi gerekliliğinden ötürü, ham maddelerin montaj sırasında hatta beslenmesini temel alan JIS yani tam zamanında sıralama felsefesi geliştirilmiştir.



Şekil 4. JIT ve JIS prosesleri.

İki felsefenin de temelinde, zamanında ham maddeyi hatta beslemek yatmaktadır fakat Şekil 4'te gösterildiği gibi, JIT felsefesinde ham madde, kütle veya yığın halinde hatta verilirken, JIS felsefesinde sıralı bir şekilde montaj hattında yapılan ürüne göre, hatta sıralanmaktadır.



Şekil 5. JIT ve JIS sevkiyatları karşılaştırılması.

JIT felsefesi içeriğinde bulunan değişken sayılarının artışı ile JIS gibi değişkenlik ile mücadele eden sofistیک lojistik prosesleri son yıllarda önem kazanmıştır [6]. JIT ve JIS felsefelerinin temel olarak karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. JIS ve JIT karşılaştırması.

Kriter	Just In Time (JIT)	Just In Sequence (JIS)
Tampon Stok	Gereksiz	Çok Gereksiz
Özerklik	Düşük	Maksimum
Bilişim Teknolojisi İhtiyacı	Standart	Çoklu İntegrasyon
Sıralama Düzensizliği	Önemsiz	Çok Önemli
Reaksiyon Zamanı	Saat/Gün	Saat/Dakika
Değişim Miktarı	Yüksek	Maksimum

Tablo 1’de de görüldüğü gibi, bu iki felsefe arasında altı farklı kritere göre karşılaştırma yapılabilir. İlk kriter üretim aralarında kullanılan tampon görevi gören stoklardır. Bu stoklar JIT prosesinde israf olarak değerlendirilip gereksiz sayılır, JIS prosesinde ise sıralama belirli olup zamanında hatta verildiğinden tamamen gereksiz sayılır. Özerklik kriteri ele alındığında, JIT için her fabrikaya eşit standartlarda uygulaması yapılırken, JIS için fabrikadan fabrikaya değişen bir uygulama yapısı vardır. Bu nedenle özerk oluşu JIS için bir avantaj olarak sayılabilir fakat son kriter olan değişim maliyeti bu alanda JIS için dezavantaj olarak görülebilir. Bilişim teknolojisi ihtiyacı JIT prosesi için standarttır ve özel bir sistem gerektirmez denilebilir fakat bu durum JIS söz konusu olduğunda tamamen değişir. JIS kendi içerisinde, hem müşteri hem tedarikçi hem de üretim yapılırken ana montaj hattının üstündeki tüm verileri aynı anda değerlendirmeyi gerekli kıldığından, üst düzey bir bilişim teknolojisi sistemi altyapısı gerektirir. Sıralama düzensizliği kriterine bakılırsa, JIT için bu kriter önemsizdir çünkü zaten kütale olarak montaj hattına gönderim yapılır. JIS için, sıralamanın yapılması en önemli kuraldır ve çok önemli olarak belirtilmiştir çünkü tüm üretim hattı bu sıralamanın doğruluğu ve zamanında oluşuna göre üretimini gerçekleştirir. Reaksiyon zamanı da, diğer kriterler altında JIS felsefesinde dakika olarak görülmektedir. JIT felsefesinde gönderilen ürünlerde bir hata olması durumunda gün bazında reaksiyon hızı var iken, JIS felsefesinde bu reaksiyon hızı dakikalara inerek ana fabrika için en esnek reaksiyonlar verilmesi amaçlanır.

Sevkiyat çeşitlerine ve sevkiyatların depolama alanındaki değişimlere bağlı olarak otomotiv alanında kullanılan sevkiyat çeşitleri temelde dört çeşittir. Bunlar ara depo ve ara deposuz olmak üzere teslimatlar, JIT ve JIS olarak söylenebilir. Teslimatı yapan araçların tır olduğu varsayılırsa, JIT ve JIS felsefelerinin teslimat şekilleri Şekil 5’te olduğu gibi gösterilebilir [3].

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada JIT’e sıralama kuralı eklenerek daha üst bir modelde elde edilen JIS’in Kocaeli Gölçük bölgesinde bulunan bir fabrikaya nasıl adapte edildiği ve kurulumu sırasındaki uygulama adımlarının neler olduğu anlatılacaktır. Sonrasında ana fabrika açısından durum incelenip, JIT sistemi ve JIS sisteminin kullanıldığı durumlarda maliyet, ekstra iş yükü, alan kullanımı gibi ana hatları ile karşılaştırmaya dayalı sayısal veriler incelenecektir. Böylelikle, otomotiv sektöründeki ana üretici fabrikaların neden tedarikçi parklarına ve tam zamanında sıralama felsefesine ihtiyaç duyduğu anlatılmaya çalışılacaktır.

Fabrika, Gölçük bölgesinde bulunan tedarikçi parkında, ana fabrikaya egzoz tedarik etmektedir. Bu egzozlar öncesinde toplu halde ana fabrika tarafından alınırken, sonrasında tedarikçi parklarının geliştirilmesi ve JIS felsefesinin kullanılması ile birlikte sıralanmış olarak ana fabrikaya gönderilmektedir. Bu uygulamada, JIS prosesinin modeli kurularak, bir vardiya boyunca JIS sisteminin ERP (Enterprise Resource Planning-Kurumsal Kaynak Planlaması) ve IT (Information Technology-Bilişim Teknolojisi) özel sıralama yazılımları ile nasıl çalıştırıldığı ve ana fabrikaya yapılan teslimatın nasıl oluşturulduğu anlatılacaktır.

3.1. JIS Modellenmesi

JIS stratejileri modellenirken öncelikle amaç fonksiyonu belirlenmelidir. Amaç fonksiyonu olarak, maliyetin azaltılması kullanılırsa; maliyetler sırasıyla: üretim, elde tutma, sıralama ve taşıma maliyetleri olarak belirlenebilir,

$$C = \min(C_{ü_{dış}}, C_{ü_{iç}}) + \min(C_{S_{ted}}+C_{S_{ür}}, C_{S_{ted}}+C_{S_{de}}+C_{S_{ür}}) + \min(C_{S_{ted}}, C_{S_{de}}, C_{S_{ür}}) + \min(C_{t_{ted}}+C_{t_{ür}}, C_{t_{ted}}+C_{t_{de}}+C_{t_{ür}}) \quad (1)$$

JIS stratejilerinin optimize edilmesi yukarıda bulunan Denklem 1’e dayandırılabilir. Üretim kapasiteleri için ise aşağıda bulunan kısıtlar yazılabilir (Denklem 2),

Dış kaynakta yapılan üretim, JIS tedarikçisinin üretim kapasitesinden küçük veya eşit olmalıdır, iç kaynakla yapılan üretim, ana üreticinin yaptığı üretime eşit veya az olmalıdır, iç ve dış kaynaklarda yapılan üretimin toplamı, montaj hattındaki üretime eşit olmalıdır.

$$Q_{ü_{dış}} \leq Q_{ü_{iç}}, \quad Q_{ü_{iç}} \leq Q_{ü_{ür}}, \quad Q_{ü_{dış}} + Q_{ü_{iç}} = Q_{ü} \quad (2)$$

Lojistik kapasiteleri için de aşağıda bulunan kısıtlamalar dikkate alınmalıdır (Denklem 3).

fakat aynı tır içerisinde üst üste taşınmasına izin verilmemektedir. Bu nedenle, bir tır 8 tane dolly alabilmektedir. Günlük ana fabrika ihtiyacı 700 adet olduğu ve bir dollynin 15 adet egzoz aldığı düşünüldüğünde günlük 47 kasa yeterli olacaktır Bunun sonucunda JIS yapan tedarikçiden ana fabrikaya her birinin kapasitesi 8 dolly olan 6 adet tır taşınacaktır. Yan sanayide JIS yerine JIT kullanıldığında ana fabrika için Tablo 2’de belirtildiği gibi yalnızca günlük bir adet tır 1234567X-A referansını taşıyacaktır.

Tablo 2. Lojistik açısından karşılaştırma.

Kriter	JIT	JIS
Taşıma Araçları	Tır-Metal Kasa	Tır-Dolly
Kasa/ Dolly Tır İçi Adedi	36	8
Kasa/ Dolly İçi Adedi	24	15
Kasa/Dolly Adedi	30	47
Tır Adedi	1	6

İkinci kriter personel olarak belirlenmiştir. JIT için standart olarak bir adet forkliftçi, bir adet irsaliye kesen personel çalıştırılacaktır. JIS tedarikçisi, JIT tedarikçisini kullanılanlara ek olarak, 3 adet sıralamacı personel (vardiya başına bir adet), 3 adet kontrol edici personel alınmalıdır. Forkliftçi için günlük 30 dk tır yükleme zamanı standart alınır, günlük %35 fazla iş yükü oluşacaktır. İrsaliye kesen lojistik personeli 30 dakikada 6 irsaliye kestiği standart alınır, günlük iş yükü, %6 artacaktır. Yan sanayide JIS yerine JIT kullanıldığında ana fabrika için Tablo 3’te belirtildiği gibi gelen malzemeyi sıralayacak personel, sıralayanları gözleyecek GAP liderleri ek olarak işe alınmak zorunda kalacaktır. Yan sanayi için fazladan oluşan iş yükleri, ana sanayi için zaman kazancına dönüşecektir.

Üçüncü kriter olarak yerleşim alanı söylenebilir. JIT tedarikçisi için yalnızca ürünün depolanacağı alana ihtiyaç vardır. JIS tedarikçisi için ise, Tablo 4’te görüldüğü gibi sıralama yapılacak artı bir alana, ürünlerin sıralamaya uygun montajlarının yapıldığı ayrı masalara, ürün depolama için ayrı alana ve bilişim desteği için ek alana ihtiyaç vardır. Bu alanlar, sıralama yapılacak verilerin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Yan sanayinin JIS’den JIT felsefesine geçişi, ana fabrika için, bu alanlara sırayla yer ayrılması gerekliliğini doğurmaktadır. Metal kasa içerisinde iki katlı depolama olduğu kabul edilirse, günlük 700 adet giden parça referansımız için bu ek alan 39,6 m² olarak belirlenebilir. IT odası ise, 16 m² olarak ek alan ihtiyacı doğurur.

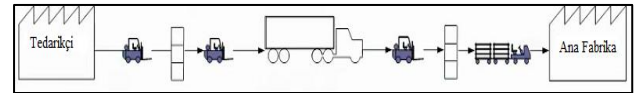
Tablo 3. Personel açısından karşılaştırma.

Kriter	JIT	JIS
Sıralama Personeli	0	3 (3 Vardiya)
GAP Lideri	0	3 (3 Vardiya)
Forklift Sürücüsü	1	1
IT Personeli	1	1
Lojistik- İrsaliye Sorumlusu	1	1

Tablo 4. Yerleşim alanı açısından karşılaştırma.

Kriter	JIT	JIS
Boşaltım Alanı Kullanımı	1 kez	6 kez
Ara depo- Sıralama Alanı (EK)	0	39,6 m ²
IT Odası Alanı (EK)	0	16 m ²

Dördüncü kriter olarak zamandan söz edilebilir. Zaman tasarrufu ana fabrika için vazgeçilmez bir kriterdir. Tedarikçinin JIT taşıma yapması durumunda, tedarikçide bulunan bitmiş ürünler tıra yüklenerek ana fabrikaya doğru yola çıkacaktır. Tırın getirdiği malzemeler onlar için alınan alana forkliftler ile getirilecektir, sonrasında ayrı alanda sıralamaları yapıp montaj hattına tekrardan dollyler ile taşınarak üretimi yapılan araca takılacaktır. Yan sanayinin JIS yapması durumunda ise, ana fabrika yalnızca gelen tırları sırasıyla boşaltarak arada herhangi bir stok alanı oluşturmaksızın montaj hattında üretime alınır.



Şekil 8. Tedarikçiden ana fabrikaya yapılan hareketler.

Beşinci kriter olarak bütçe belirlenebilir. Yan tedarikçinin JIS felsefesinden JIT felsefesine geçişinin ana fabrikaya getireceği tüm maliyetler ve tasarruflar Tablo 5’te gösterilmiştir. Bu tabloda öncelikle taşıma kriteri ele alınmıştır. Tırın fabrikalar arasında JIT kullanarak tek gidiş geliş için oluşturduğu maliyet 750 pb’dir, JIS için ise 6 sefer gerçekleşeceğinden dolayı 4500 pb maliyet artışı olacaktır. Aynı şekilde personeller için de gerekli maaşlar dikkate alınarak JIS’i ana fabrika kendisi yapsaydı 24000 pb ek personel maliyeti oluşacaktı. En fazla maliyet oluşturan kalem ise IT odasında bulunacak sunucu ve ek ihtiyaçlar için gerekli olan ortalama 7000000 pb ihtiyaçtır. Diğer büyük maliyeti ise sıralama yapmak için gerekli olan makineler ve yazıcı oluşturmaktadır. Fakat bu sabit maliyetler yanında JIS’in ana fabrika tarafından yapılması

sonucunda malzeme birim fiyatında 50 pb'lik bir artış olacaktır.

Tablo 5. Bütçe açısından karşılaştırma.

Kriter	JIT	JIS
Taşıma	750 pb	4500 pb
Personel (Lojistik)	12000 pb	36000 pb
Malzeme Birim Fiyatı	300 pb	350 pb
IT Ek Oda Maliyeti (EK)	0	7000000 pb
Sıralama Makineleri (EK)	0	2003000 pb

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, ana fabrikanın yan sanayisinden JIS ile tedarik ettiği günlük 700 adet kullanılan 1234567X-A referansının, yan tedarikçiden JIT ile tedarik edilme ve buna bağlı olarak JIS felsefesinin ana sanayide yapılması durumu incelenmiştir.

Uygulamada belirlenen taşıma, personel, zaman, yerleşim alanı ve bütçe kriterlerine göre bu iki durum incelenmiştir. İlk kriter olan taşıma açısından bakıldığında, normalde tedarikçi tarafından JIS ile parçalar sıralı olarak getirilmektedir. Fakat, ana sanayinin parçaları kendi sıraladığı düşünülürse, ve tedarikçi JIT sistemine dönerse, tedarikçiden parçalar tek bir tır ile metal kasalar halinde taşınabilecektir. Böylelikle, JIS yapılırken ortaya çıkan fazladan beş tır maliyeti yok olacaktır. Fakat taşıma, ana fabrika içerisinde JIT söz konusu olduğunda, tırdan ürün indiğinde ara depolama alanına forkliftler ile götürülüp, burada sıralama yapıp, tekrardan dollylere yüklenerek montaj hattına götürülerek fazladan alan, zaman, işçi ve taşımaya sebep olacaktır. Bu durum JIS sisteminde direkt dollyler hatta verileceğinden bulunmaz. Bu nedenle, ana fabrikada mevcut olmayan depolama alanı ve çalıştırmak istemediği fazladan işçi ve forkliftler nedeniyle tedarikçisinin yapacağı JIT sistemini tercih etmemektedir.

İkinci kriter olan personel incelendiğinde, tedarikçinin yapacağı JIT sisteminde, ana sanayi için ek olarak, sıralama yapacak personele ihtiyaç duyulacaktır. Bunların yanında IT personeli, vardiya liderleri, iş yükleri artacak olan lojistik personeli ve forkliftçi bulunacaktır. Bu fazladan personeli çalıştırmak istemeyen ana fabrika, JIT ile taşıma felsefesinden ziyade JIS ile taşıma yapıp, bu ek çalışanları yan tedarikçide tutarak fazla personel çalıştırması engellemek ister.

Üçüncü kriter olan yerleşim alanı incelendiğinde, JIS ile yapılan tedarikçi taşımada, ana fabrikaya gelen

dollyler direkt olarak ana montaj hattına alınacaktır, bu sayede ek bir alana ihtiyaç olmayacaktır. JIT ile taşıma yapılsaydı, tedarikçiden tır ile gelen toplu haldeki malzemeler bir ek depo alanına alınarak, bu alanda sıralamaları yapılacaktır. Bu ek depo, ana fabrika açısından fazladan yerleşim alanını gerekli kılacaktır. Bu nedenlerle, ana fabrika, JIT sistemini tedarikçisinden istemek yerine JIS tercih etmektedir.

Dördüncü kriter olarak zaman incelendiğinde, öteki kriterlerle de alakalı olarak, tedarikçinin JIT yaptığı sistemde, depo alanına taşıma, sıralama ve ana montaj hattına taşıma gibi fazladan zamana ihtiyaç duyar. Buna kıyasla JIS sisteminde ise sadece altı tırın dollyler ile montaj hattına taşınması ana fabrika için tercih edilen sistem olmaktadır.

Beşinci kriter olan bütçe incelendiğinde, ana fabrikanın kendi içinde JIS sistemine dönüşü veya tedarikçisinin JIT sistemine sahip oluşu, malzeme birim fiyatı açısından 50 pb'lik bir maliyet kazancı sağlar çünkü tedarikçi fabrika yaptığı JIS sonucu malzeme birim fiyatı 350 pb iken JIT ile yapılan taşıma sonucu birim fiyat 300 pb olacaktır. Fakat bunun yanında, tedarikçi JIT sistemine döndüğünde, sabit maliyet olarak ana fabrika için fazladan IT odası gereksinimi doğmaktadır. IT yatırımı tek seferde 7000000 pb'ne ihtiyaç duymaktadır. Personeller için tedarikçinin JIT'e dönüşü ek olarak aylık bazda 24000 pb'lik bir maliyet getirecektir. Taşıma da, günlük 3750 pb'lik bir ek maliyet oluşturur.

Ana fabrika için aylık oluşan personel maliyetini ve taşıma maliyetini hesapladığımızda, 114900 pb harcama oluşmaktadır. IT için sabit maliyet ise 7000000 pb tek seferde ödenecektir. Aylık olarak maliyetten kazanç ise her malzeme için 50 pb olarak, 1050000 pb olur. Bu kazançtan aylık maliyetler çıkartıldığında, aylık kazanç 935100 pb oluşur. IT odası ihtiyacının amorti süresi böylece, 7,48 ay olur. Bu amorti süresinin yanında sıralama için alınacak yeni makineler ve yazıcılar eklenince toplam amorti süresi 8,57 aya çıkmaktadır. Fakat, alan ihtiyacı bu hesaba dahil edilmemiştir. Ek alan ihtiyacı ve sıralama için ek makineleri yerleştirme ihtiyacı dolayısıyla, tedarikçinin JIS felsefesi ile sıralama yapması ana fabrika için tercih edilen durumdur. Bunun nedeni ana fabrikada sıralama yapılacak ek bir alanın olmayışıdır.

Sonuç olarak, JIS yapan tüm tedarikçiler de yan sanayi parklarına taşınarak ara taşıma maliyetlerinden JIS için kurtulmaya ve böylelikle zamandan ve riskten kaçınılabilir, en iyi malzeme besleme yapılmaya çalışılır. Bu sayede günümüzdeki JIT felsefesi otomotiv sanayisinde JIS kapsamında, sürekli kendini yenileyerek ve maliyet ve zamandan tasarruf edilerek tedarikçi parklarında gelişimini sürdürmektedir.

Teşekkür

Bu makaleyi yazarken bana destek olan tüm iş arkadaşlarıma, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü personellerine, tez danışmanım Atakan Alkan ve değerli hocam Kadri Süleyman Yiğit'e teşekkür ederim. Hayatım boyunca beni destekleyen başta annem ve kardeşim olmak üzere tüm aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Kaynaklar

- [1] Aytakin S., 2009. Tam zamanında stok yönetimi just-in-time felsefesinin hastane işletmelerine uygulanabilirliği ve bir üniversite hastanesi örneği. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, **12**(21), 102-115.
- [2] Ramaswamy N., Selladurai V., 2002. Just-in-time implementation in small and medium enterprises. Work Study, **51**(2), 85-90.
- [3] Werner S., 2003. Just-in-sequence material supply-a simulation based solution in electronics production. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, **19**(1), 107-111.
- [4] Schmitz K., Shin W., 2007. Extended multi-customer supplier parks in the automotive industry. Institute of Management Sciences, Department of Industrial and Systems Engineering, Vienna University of Technology, Austria, **56**(1), 479-482.
- [5] Hüttmeir A., 2009. Trading off between Heijunka and Just-in-sequence. International Journal of Production Economics, **118**(2), 501-507.
- [6] Wagner M., Silveira-Camargos V., 2011. Decision model for the application of Just-in-sequence. International Journal of Production Research, **49**(19), 5713-5736.
- [7] Heinecke G., Lamparter S., 2013. Advanced supply chain information for rule-based sequence adaptations on a mixed-model assembly line with unreliable just-in-sequence deliveries. 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control, International Federation of Automatic Control, **46**(9), 1902-1907.
- [8] Battini D., Boysen N., 2013. Just-in-time supermarkets for part supply in the automobile industry. Journal of Management Control, **24**(2), 209-217.
- [9] Banyai A., Banyai T., 2017. Modelling of Just-in-sequence supply of manufacturing processes. MATEC Web of Conferences, University of Miskolc, **112**.
- [10] Hofmann E., Rüsç M., 2017. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Computers in Industry, **89**, 23-34.
- [11] Adilkovic A., 2017. Implementation of Just-in-sequence concept in automotive industry - comparison of austrian and serbian model. Industrija, **45**(3), 83-89.
- [12] Falsafi M., Maschiori I., 2018. Managing disruptions in inbound logistics of the automotive sector. IFAC-PapersOnLine, **51**(11), 376-381.
- [13] Leskova A., 2012. Logistics concept of supply chain in automotive production. Technical University of Košice, **3**.



Soğanlı Süs Bitkilerinden Glayöl, Frezya ve Zambakta Dinlenme ve Çiçeklenme

Dormancy and Flowering of Gladiolus, Freesia and Lily from Bulbous Ornamental Plants

Serdar TANTAN¹ , Rezzan KASIM^{2,*} , M. Ufuk KASIM³ 

¹ Bahçe Bitkileri ve İslahı Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-9262-1503

² Arslanbey Meslek Yüksekokulu, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-2279-4767

³ Arslanbey Meslek Yüksekokulu, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-2976-7320

Derleme Makalesi

Gönderilme Tarihi : 27/04/2019

Kabul Tarihi : 29/11/2019

Anahtar Kelimeler

Büyümeyi Düzenleyici Madde
Sıcak
Soğanlı Bitki
Soğuk

Özet

Bu derleme çalışmada, soğanlı bitkilerden glayöl, frezya ve zambakta dinlenmenin oluşumu ve kırılması ile çiçeklenmenin mekanizması incelenmiştir. Dinlenme, hormonların aktivitesi sonucu, soğanın metabolik faaliyetlerin kısmi olarak yavaşlatılması ile oluşan büyüme durgunluğu olarak ifade edilmektedir. Aynı zamanda, dinlenme, yüksek ve düşük sıcaklıklar ile kuraklık gibi olumsuz çevre şartlarında bitkinin hayatta kalmasını sağlayan bir mekanizmadır. Soğanlı bitkilerde de, diğer bitkilerde olduğu gibi vejetatif gelişme, çiçeklenme ve dinlenme olmak üzere üç gelişme aşaması bulunmaktadır. Soğan dikiminin ardından bitki vejetatif olarak gelişmekte, ardından vejetatif meristem generatif meristeme dönüşerek çiçek sapı oluşturmaya ve çiçeklenme ile eş zamanlı olarak yavru soğan oluşmaktadır. Oluşan yavru soğanlar belirli bir dinlenme döneminden sonra tekrar çiçeklenmektedir. Soğanlı bitkilerde dinlenmenin kırılması ve çiçeklenme için, soğuk ve sıcak uygulamaları, dışsal hormon uygulamaları ile fotoperiyodizm uygulamaları yapılmaktadır. Düşük ve yüksek sıcaklıkların bitkinin dinlenmeden çıkmasını sağlayarak, çiçeklenmeye neden olduğu tespit edilmiştir. Dışsal büyümeyi düzenleyici uygulamaları ise hem içsel hormonların üretimini artırılması, hem de oransal olarak uyarıcı miktarının artırılması veya engelleyici miktarının azaltılması şeklinde etki gösterdiği görülmüştür.

Review Paper

Received Date : 27/04/2019

Accepted Date : 29/11/2019

Keywords

Plant Growth Regulator
Hot
Bulbous Plant
Cold

Abstract

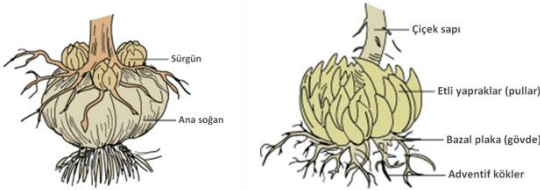
In this review, the formation and breaking of dormancy of gladiolus, freesia and lily from the bulbous plants and the mechanism of flowering were investigated. Dormancy is defined as the growth recession that occurred the slowing of the metabolic activities of the onion by result of the activity of the hormones. At the same time, dormancy is a mechanism that ensures the survival of the plant in adverse environmental conditions such as drought and low temperatures. In bulbous plants, as in other plants, there are three stages of development which are vegetative development, flowering and rest. After planting onions, the plant develops vegetatively, and then flower stalk formed via turning of the vegetative meristem to a generative meristem, and the young bulb is form simultaneously with inflorescence. The newly formed onions grow again after a certain period of rest. Cold and hot applications, exogenous hormone applications and photoperiodism are applied for breaking dormancy and flowering in bulbous plants. It was found that low and high temperatures caused releasing of dormancy of plants and cause flowering. External growth-regulating practices have been shown to increase both the production of internal hormones and the proportional amount of stimulants or decrease the amount of inhibitor.

Sorumlu Yazar (Corresponding Author): rkasim@kocaeli.edu.tr



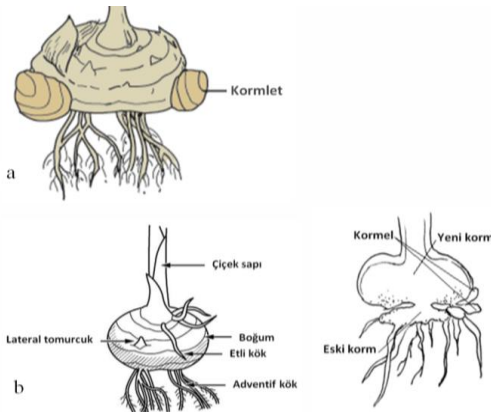
1. Giriş

Çiçek soğanları ya da diğer adı ile geofit süs bitkileri, 800'den fazla botanik cins altında büyük bir çeşitliliğe sahip bitkiler topluluğudur [1]. Soğanlı bitki terimi bitkilerin çoğaltımını sağlayan gerçek soğanlar, kormlar, rizomlar ve hatta yumrular ile yumrulu kökleri de içeren geniş bir anlam taşımaktadır. Soğan; ya üzerinde bir büyüme noktasını taşıyan kısa, etli, genellikle yatay bir gövde eksenini (bazal gövde) veya kalın, etli pullarla çevrili bir çiçek tomurcuğu içeren özel bir yeraltı organı olup, nergis ve lalede olduğu gibi tunik veya laminat tipi ve zambakta (Şekil 1) olduğu gibi tuniksiz veya pullu yapıda olabilmektedir. Soğancık olarak adlandırılan küçük soğanlar, ana soğanın tabanında ve bazı zambaklarda yeraltı sapı boyunca oluşmakta, bazı bitkiler ise bulbil denilen hava soğanları üretmektedir. Genel olarak soğanların su içeriği yüksek olup, hasattan sonraki dinlenme durumunda da canlı durumdadır, dolayısıyla, soğanların fizyolojik gelişimi depolama boyunca da devam etmekte ve bu gelişimin süresi çevre faktörleri ile kontrol edilmektedir [2].



Şekil 1. Zambak soğanının yapısı [3].

Korm, kuru-pul benzeri yapraklar ile çevrili bir kök ekseninin şişmiş tabanı olup; çiğdem, frezya (Şekil 2a) ve glayöl (Şekil 2b) gibi bitkiler kormlu bitki olarak adlandırılmaktadır. Gerçek bir soğanın aksine korm üzerinde boğum ve boğum araları bulundurmaktadır. Ayrıca eski korm tabanı çevresinde kormel olarak adlandırılan küçük kormlar üretilmektedir [4].



Şekil 2. Frezya (a) ve glayöl (b) kormunun yapısı [5].

Metamorfoz sonucu oluşan bu gövde parçalarının birincil fonksiyonu, olumsuz hava şartlarına karşı bitkinin canlı kalmasını sağlamak için besin depolanmasıdır. Bu nedenle soğanlar, söküldükten sonra belli bir süre depolanabilmekte ve bu süreçte olumsuz iklim şartlarından korunarak canlı kalmaları sağlanmaktadır [6]. Frezya ve Glayöl kormlu bitkiler içerisinde yer almakta ve dikey bir büyüme eksenini içermektedir. Kormlar, yaşlanmış soğanın üzerinde oluşmaları ile rizomlardan ayrılmaktadır. Zambak ise soğanlı bitkiler içerisinde sınıflandırılmakta ve zambak soğanı bazal gövde üzerinde bulunan şişmiş yaprak tabanı ve pullardan oluşmaktadır [7].

Soğanlı bitkilerde bir vejetasyon süresi içerisinde; vejetatif gelişme, çiçeklenme ve dormansi olmak üzere üç büyüme dönemi bulunmaktadır. Söz konusu bitkilerde vejetatif büyüme çiçeklenmeden önce veya çiçeklenmeden sonra meydana gelebilmektedir. Bu bitkiler çoğunlukla vejetatif gelişme ve çiçeklenmenin ardından dinlenme (dormansi) dönemi geçirmektedir. Soğanlı bitkilerde soğanların dinlenmeye giriş ve çıkışı, vejetatif büyüme ve çiçeklenme gibi gelişimle ilgili süreçler; içsel büyüme hormonları, solunum substratları, nükleoproteinler ve gen aktivasyonu gibi içsel faktörler ile ışık ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin etkisi sonucu oluşmaktadır [6].

Dinlenme, başlangıcı ve bitişi hormonların kontrolünde gerçekleşen, metabolik faaliyetlerin kısmi olarak yavaşlatılması şeklinde ortaya çıkan; büyüme durgunluğunu tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Dinlenme aynı zamanda yüksek ve düşük sıcaklıklar ile kuraklık gibi olumsuz çevre şartlarında bitkinin hayatta kalmasını sağlayan bir mekanizmadır. Dinlenme ayrıca, yumru içindeki gelişim ve değişim dönemini anlatmak için de kullanılmaktadır. Dinlenme dönemi vejetatif organların ticari olarak taşınması ve depolanmasını sağladığı için pek çok ürünün ticari üretiminde önemlidir [8].

Dinlenme olgusu, sürecin kendisi kadar karmaşık olup, bitkinin yaşam döngüsü içinde dinlenmeyi, aktif veya pasif bir dönem olarak tanımlamak zordur. Genellikle, metabolik olarak aktif bir bitkinin büyümesini durdurması ve koşullar uygun hale geldikten sonra gelişimine devam etmesi, bir dinlenme zamanının olası varlığına işaret etmektedir. Bitki türlerine göre değişmekle birlikte dinlenmenin soğuk uygulamaları ile kısıldığı türlerde; bitkinin içinde bulunduğu fiziksel ortam dinlenme üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Bu dönem boyunca çevresel koşulların değiştirilmesi, dormansinin kırılmasına yol açan gelişim süreçlerini de tetiklemektedir [9].

Dinlenme dönemi, soğanlı bitkilerin değişik iklim şartlarında yetiştirilmesini sağlayan en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Genel olarak ilkbaharda dikimi yapılan soğanlar yaz aylarında dinlenmede iken, yaz döneminde dikilen soğanlar kışı dinlenmede geçirmektedir. Bu nedenle, soğanların depolama

kapasitesini doğrudan etkileyen bu olayın anlaşılması, soğanlı bitkilerin çoğaltma yöntemlerinin geliştirilmesi için de oldukça önem taşımakta ve ön şart olarak görülmektedir. Soğanlı bitkilerde sürgün çıkışı ancak dinlenme dönemi bittikten sonra meydana geldiğinden soğan depolama şartları da sürgün gelişimini belirleyen en önemli faktörlerden birisi olarak düşünülmektedir [10].

Dormansi bitkilerin çimlenmesi, büyüme ve çoğalmasının düzenlenmesi üzerine doğrudan etkili olup, dinlenmenin yoğunluğunu ifade etmek için 'derin dormansi' terimi kullanılmaktadır. Bitkilerde görülen dinlenme Romberger [11] tarafından 'korelatif dinlenme', 'dinlenme' ve 'pasiflik' şeklinde 3 aşamalı olarak tanımlanmış ve Lang vd. [12] tarafından ise 'dışsal (eco) dinlenme', 'İçsel (endo) dinlenme' ve 'uyku hali (para)' olarak adlandırılmıştır. Büyüme düşük veya yüksek sıcaklık gibi çevre faktörleri nedeniyle önlenirse, bu tip dinlenmeye dışsal dinlenme (ecodormancy); büyümenin meristemin dışındaki fakat bitki içindeki diğer şartlar nedeniyle önlenmesine uyku hali (paradormancy); büyüme meristemin kendi içindeki şartlardan dolayı engellenirse bu olaya içsel dinlenme (endodormancy) adı verilmektedir [13]. Bu kavramlar genel olarak tohumlar ve tomurcuklarda kullanılmakla birlikte soğanlı bitkiler için de uyarlanmıştır. Farklı soğanlı türlerinde içsel (gerçek) fizyolojik dinlenmenin dışında, dinlenmenin yoğunluğuna bağlı olarak; zambak tipi, lale tipi ve soğan tipi dinlenme olarak üç tür dinlenme şekli belirlenmiştir. Zambaklar gibi ılıman iklim çiçeklerinde gözlenen ve tohum dinlenmesine benzeyen gerçek fizyolojik dinlenme zambak tipi olarak adlandırılmıştır. Lale, nergis ve sümbül gibi çiçeklerde görülen "Lale tipi dinlenme" çiçeklenmeden hemen sonra oluşmakta ve sap uzamasını önlemektedir. Süsen gibi bitkilerde görülen soğan tipi dinlenme ise çoğunlukla gerçek fizyolojik dinlenmeden çok, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlerden kaynaklanmakta ve şartlar uygun hale geldiğinde bitki yeniden büyümeye başlamaktadır [6].

Düşük sıcaklıkların soğanlı bitki türleri ve bitkilerin yaşam döngüsündeki rolü 3 grup altında sınıflandırılmaktadır. 1. Büyüme ve gelişme için soğuk gereklidir (endodormancy) ve bitkiler soğuk uygulaması olmadan yaşam döngüsünü tamamlayamamaktadır. Örneğin lale sürgün uzaması ve çiçeklenme için soğuk gerektirmektedir. 2. Bitki eğer dinlenme dönemindeyse büyüme ve gelişmenin devamı için soğuk gereklidir (endodormancy), bununla birlikte bitki dinlenme periyodundan çıktıktan sonra çiçeklenebilmekte ve yaşam döngüsünü tamamlayabilmektedir. Örneğin, 12 saat veya daha az gün uzunluğuna maruz kalma, yumrulu begonyada dormansi ve hipokotil genişlemesini teşvik etmekte, begonyalar soğuk uygulaması olmadan 14 saat gün uzunluğu altında yetiştirilirse bitki dormansiye girmemekte

ve çiçek oluşturmamaktadır. 3. Soğuk gerekli olmamakla birlikte büyüme ve gelişmeyi önlemekte ve kurumayı azaltmaktadır (ecodormancy). Örneğin, hippeastrum soğanları soğuk uygulaması gerektirmemekte fakat soğanlar 5-9°C'de depolandığında, çiçeklenme ve yaprak çıkışı geciktiğinden taşıma ve depolama sırasında herhangi bir bitki gelişimi olmamaktadır [7].

2. Soğanlı Bitkilerin Çiçeklenmesinin Uyarılması: Şartlandırma

Soğanlı kesme çiçekler yılın belirli dönemlerinde yani ya ilkbaharda veya sonbaharda çiçeklendiğinden, ticari kesme çiçek üretiminde gerekli olan yıl boyu üretim ihtiyacını karşılayamamaktadır. Dolayısıyla soğanlı çiçeklerin yıl boyu üretimini başarabilmek için çiçek soğanlarının büyüme ve gelişme süreçlerini etkileyen özel uygulamaların yapılması gerekmektedir. Soğanların çiçeklenmesi için doğadaki şartları oluşturmak amacıyla suni büyüme şartlarının kullanımı "şartlandırma" olarak adlandırılmaktadır. Çiçek soğanlarının şartlandırılması, hasattan sonraki dinlenme periyodu süresince yapılmaktadır. Bununla birlikte soğanın genişleme aşaması süresince uygulanan sıcaklıklar da hasattan sonraki fizyolojik durumunu etkilediğinden, bu dönemdeki sıcaklıkların kontrol edilmesi de önemlidir. Hasattan sonra doğrudan uygulanan yüksek sıcaklıklar çiçeklenme zamanı ve çiçek oluşum oranını kontrol ederken, çiçek tomurcuğunun farklılaşması ve köklenmenin başlangıcı için düşük sıcaklık uygulaması gerekmekte ve bu uygulama ile dinlenme dönemi ortadan kaldırılmaktadır [14]. Dinlenme kırıldıktan sonra, soğan dikimi yapılmakta veya dikilmiş olan soğanlar kök gelişimini uyarmak için ya köklenme odasına veya doğrudan seraya taşınmaktadır. Seçilen sıcaklık rejimine bağlı olarak çiçeklenme uyarılabilmekte, geciktirilmekte veya önlenmektedir [15]. Buna karşın şartlandırma için gerekli olan süre depo organlarının içindeki depolanmış fotosentez ürünlerinin solunumunda kullanılmasından dolayı çoğunlukla kısadır [7].

Belirtildiği üzere dinlenmenin kırılması üzerine hem düşük hem de yüksek sıcaklıklar etkili olmakta, bununla birlikte dinlenmenin kırılması için gerekli sıcaklık ve süre, farklı türler ve genotipler arasında farklılık göstermektedir. Sıcaklık uygulaması soğanlı bitkilerden çiçek oluşturmak amacıyla dormansinin kırılmasında veya vejetatif büyüme sürelerinin değiştirilmesinde yoğun olarak kullanılmıştır. Soğan depolaması için değişen derecelerdeki düşük sıcaklıkların başarılı olduğu bulunmuştur. Çalışmalarda soğanların, dinlenmenin kırılmasından önce, gelişme için yeterli depo maddelerinin birikiminin sağlanması için minimum kritik kütle oluşturduğu görülmüştür [6].

Frezya, zambak ve glayöl soğan ve kormları için depolama sıcaklıkları ve dinlenmeyi kırmak için yapılan uygulamalar Tablo 1’ de verilmiştir [16].

Tablo 1. Frezya, zambak ve glayöl türlerinin soğuklama süresi ve alternatif uygulamalar.

Tür	Depo organı	Sıcaklık derecesi ve süresi	Alternatif uygulamalar
Frezya hibritleri	Korm	15°C veya daha düşük sıcaklıkta, 6 hafta	30°C sıcaklıkta minimum 15-16 hafta ön uygulama gerekli olabilir, sıcak uygulamasının yerine etilen kullanılabilir.
Lilium Asyatik hibritleri	Soğan	2-5°C, 6-10 hafta	--
Lilium Oryantal Hibritleri		2-5°C, 8-10 hafta	Uzun gün soğuk yerine geçebilir
Lilium longiflorum		2-7°C, 6 hafta	Uzun gün soğuk yerine geçebilir
Lilium speciosum Thunb.		5°C, 6 hafta	Uzun gün soğuk yerine geçebilir
Glayöl hibritleri	Korm	2-10°C, 8-22 hafta	38°C sıcaklık ön uygulaması soğuk depolama için gerekli süreyi kısaltır, fotoperiyot dormansi ve çiçeklenmeyi etkiler.

3. Soğan Dormansisinin Kırılmasında Hormonların Etkisi

Dormansinin başlangıcı ve bitişi, büyüme ve farklılaşmayı kontrol eden büyüme inhibitörleri ve uyarıcıları tarafından düzenlenmektedir. Dolayısıyla çiçek soğanlarında dormansinin kontrolü için dışsal bitki büyüme düzenleyicileri (BBD) ticari olarak kullanılmaktadır. Depolanmış çiçek soğanlarının sürmesi (filizlenmesi) sırasında gibberellin ve oksin aktivitesinde artış olduğu, bununla birlikte, gibberellinlerin (GA), iyi gelişmiş filizlerde daha yüksek miktarda iken, oksinlerin, esasen daha küçük filizlerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Gibberellin benzeri maddeler ayrıca *Lilium longiflorum* ve *Lilium speciosum* soğanlarında da tanımlanmıştır. *Lilium speciosum* üzerine yapılan in vitro çalışmalarda, GA sentezini önleyici, Paclobutrazol’un ortama eklenmesinin, soğancıklardaki (bulblet) dormansi düzeylerini azalttığını göstermesi, GA düzeylerinin dormansi ile ilişkili olduğunu düşündürmüştür. GA’nın, dinlenmenin kırılması sırasında hidrolitik enzimin sentezi yoluyla işlev görüp görmediği ya da değişen çevre şartlarına karşı soğanların ısıl duyarlılıklarını arttırması, konusu tam olarak aydınlatılmamıştır. Glayöl ve frezya gibi kormlu bitkilerde sitokininler ve etilenin dormansiyi kırdığı belirtilmiştir. Etilenin frezya kormunun dinlenmesini kırmada etkili olduğu bulunmuştur. Dışsal etilen üretimine yol açan duman uygulamasının frezya kormunda dormansinin kırılmasına neden olduğu belirlenmiştir. Bunun aksine, dışsal etilen uygulamasının

soğan yumrularında sürmeyi önlediğinin bulunması, dormansi ve filizlenmenin düzenlenmesinde içsel etilenin de etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, değişik soğanlı bitkilerde dormansi kırılması uzun zamandır absisik asit ile ilişkilendirilmekte olup zambak soğanlarında dinlenmenin oluşumunda içsel ABA seviyelerinin önemli bir rol oynadığı ispat edilmiştir. *Lilium rubellum*’da soğan depolama sırasında içsel ABA seviyesindeki azalma dormansinin kırılması ile ilişkilendirilmiştir. Dormansi içsel hormonların, sıcaklık ve ışık ile birlikte eş zamanlı faaliyeti sonucu oluşmaktadır [6].

Soğanlı bitkilerde dormansinin kırılmasında hormonların etkinliğinin belirlenmesinin ardından, dışsal büyüme düzenleyici uygulamaları ile dinlenmenin kırılmasına yönelik çalışmaların sayısı artmıştır. Zambak, sümbülteber (tuberoze) ve glayöl gibi soğanlı süs bitkilerinin performansı üzerine soğan boyutu ve büyüme düzenleyicilerin etkisinin araştırıldığı çalışmada, 5, 7.5, 10 cm olmak üzere 3 farklı boyuttaki soğanlar dikimden önce Gibberellik asit (GA₃) ve Naftalin asetik asit (NAA) ile 12 saat ıslatılmıştır. 10 cm boyutundaki soğanlara 1000 ppm GA₃ uygulaması; soğanların %80’inin sürmesi için geçen süre, bitki boyu, bitki başına yaprak sayısı ve yaprak alanında artışa neden olmuştur. Bunun yanısıra yapılan bu uygulama; başakların çıkışı için geçen gün, ilk kandillerin açıldığı gün, başak uzunluğu, kandil sayısı, çiçek tomurcuğu uzunluğu, çiçek uzunluğu, çiçek çapı, çiçek ağırlığı, vazo ömrü ve soğan verimi, bitki başına soğan ve yavru soğan verimi, soğan ve yavru soğanların ağırlığı gibi verimle ilişkili özelliklerde de artışa neden olmuştur [17].

4. Soğanlı Bitkilerde Çiçek Tomurcuğu Oluşumu

Çiçek soğanları, yetiştirme mevsimi boyunca periyodik olarak, sıcaklık, yağış ve ışık açısından mevsimsel değişimler geçirmektedir. Çiçeklenme dönemine bağlı olarak, soğan büyümesi, ilkbahar veya sonbahar süresince meydana gelebilmektedir. İlkbaharda çiçeklenen soğanlar yaz boyunca dinlenmede kalıp, sonbaharda büyümeye devam etmektedir. Dolayısıyla büyüme ve gelişme için sıcak-soğuk-ılık periyotlarını geçirmesi gereklidir. Frezya bitkisi bu grup içerisinde yer almaktadır. Glayölün de içinde yer aldığı yazın çiçeklenen soğanlar ise kışın dinlenmede olup, ilkbaharda büyümeye başlamaktadır. Soğanlı bitkilerin çiçeklenme zamanı, çiçek tomurcuğu oluşum zamanı ile ilişkili değildir. Çiçek tomurcuğu oluşumu yılın farklı dönemleri ve soğanın farklı gelişme aşamalarında meydana gelebilir. Hartsema [18], çiçek tomurcuğu oluşumunda yedi farklı dönem olduğunu bulmuştur (Şekil 3).

56,9) olduğu, buna karşın yalnızca 90 gün depolanmış kormların parsel başına bitki (2,41) ve korm (2,50) miktarının en yüksek olduğu belirlenmiştir. 100 ppm GA₃ uygulandıktan sonra 90 gün depolanan kormlardan en ağır (sırasıyla 21,50 g ve 18,82 g) ve en büyük (sırasıyla 4,46 cm ve 4,17 cm) kormların olduğu da tespit edilmiştir [23]. Gibberellik asit (GA₃) ve 6-benzil aminopurin (BAP)'in yapraktan uygulamasının Traderhorn glayöl çeşidinde büyüme, çiçeklenme, hasat sonrası ömür ve korm üretimi üzerine etkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada; BAP veya GA₃'ün ilk spreyi 30 gün ve ikincisi 60 gün sonra 0, 25, 50 veya 100 mg L⁻¹ dozlarında uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bitki büyüme düzenleyicilerinin kontrol ile karşılaştırıldığında bitki boyunu, sap uzunluğunu, başak başına çiçek sayısını, kandillerin taze ağırlığını, başak vazo ömrünü ve kormun çapını ve ağırlığını artırdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte GA₃, klorofil miktarını ve başak uzunluğunu BAP'a göre önemli ölçüde artırırken; BAP'ın sap taze ağırlığını, GA₃ uygulamasından daha fazla artırdığı görülmüştür. GA₃ konsantrasyonları incelendiğinde, 25 mg L⁻¹ ve kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında 100 mg L⁻¹ dozunun; bitki boyu, yaprak klorofil içeriği, sap uzunluğu, sapın taze ağırlığı, başak uzunluğu, başakta bulunan çiçek sayısı, kandillerin taze ağırlığı, başak vazo ömrü ve çapı ile ağırlığı üzerinde en fazla etkiyi gösterdiği, bu uygulamayı 50 mg L⁻¹ uygulamasının izlediği belirlenmiştir. Başak çıkışı için geçen gün sayısı, kandel çapı ve bitki başına üretilen korm sayısının, farklı bitki büyüme düzenleyicilerinden ve bunların konsantrasyonları ile bu iki faktörün birleşik etkisinden etkilenmediği bulunmuştur [24]. Darshan ve Dhiraj glayöl çeşitlerinde dormansinin kırılması, korm ve kormel üretimi üzerine tiyöre (TU), salisilik asit (SA), potasyum nitrat (KNO₃) ve gibberellik asit (GA₃) ile iki farklı sürede ıslatma uygulamasının araştırıldığı çalışmada, Darshan çeşidinin filizlenme süresinin Dhiraj çeşidine göre daha düşük, filizlenme oranının ise büyük ölçüde daha yüksek olduğu görülmüştür. Kormların dikim öncesi 24 saat boyunca ıslatılması filizlenme için geçen sürenin azaltılması, korm filizlenme yüzdesinin ve korm başına filizlenen tomurcuk sayısının artırılmasında 12 saat ıslatmaya göre daha etkili olduğu bulunmuştur. %2 TU ve 150 ppm SA uygulamalarının filizlenme için geçen gün sayısının azaltılması açısından kontrole göre oldukça etkili olduğu, %2 TU, 150 ppm SA, % 1,5 KNO₃ ve 150 ppm GA₃ uygulamalarının ise kormların filizlenme yüzdesini kontrole göre önemli ölçüde artırdığı ve her bir korm için maksimum filiz sayısı üretilmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan uygulamaların Dhiraj çeşidinin yumru büyüklüğü ve ağırlığı, maksimum sayıda küçük kormel

üretimi ve bitki başına kormel sayısını, Darshan çeşidine göre daha fazla artırdığı, buna karşılık Darshan çeşidinin ürettiği büyük kormel sayısının daha fazla olduğu da bulunmuştur. Islatma süreleri incelendiğinde ise, soğanların 24 saat süreyle ıslatılmasının, 12 saat ıslatmaya göre korm ve kormel özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği de saptanmıştır. Araştırmada, bitki başına düşen korm sayısının artırılması açısından: 150 ppm SA ve % 2 TU; yumru boyutu ve ağırlığının artırılmasında: SA 150 ppm ve 150 ppm GA₃; bitki başına en fazla kormel sayısı ve ağırlığı bakımından: % 2 TU, 150 ppm GA₃ ve 150 ppm SA uygulamaları daha etkili bulunurken, kontrol grubunda küçük kormel ve toplam kormel sayısının daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır [25].

Glayölde dormansinin kırılması üzerine gibberellinler, su uygulaması, duman uygulaması, kuru kabuğun çıkarılması ve nemli kumda soğutma uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı çalışmada; laboratuvar şartlarında nemli kum uygulamasının köklenmeyi hızlandırdığı (16. günden itibaren), soğuk uygulanan kormlarda denemenin 47. gününde, kök çıkışı ve sürgün çıkışının; 62. günde ise sürgün sayısının kontrol grubuna göre daha fazla olduğu bulunmuştur. Kabuğu çıkarıldıktan sonra soğuk uygulanıp, dikimi yapılan kormlarda çiçek boyutunun ve bunlardan oluşan sayısının en yüksek olduğu bulunmuştur [26].

Korm dinlenmesinin kırılmasında değişik hormonların ve gama radyasyonunun etkilerinin araştırıldığı çalışmada, Eurovision glayöl çeşidi kormlarının bir kısmına 125, 250, 500 ve 1000 rad. dozlarında gama radyasyonu, diğer kısmına ise 125, 250, 500 ve 1000 ppm dozlarında etefon uygulandıktan sonra dikim yapılmıştır. Dikimden 45 gün sonra bütün uygulamalardaki bitkilerin yarısına 50 ppm GA₃ püskürtülmüştür. Çalışma gama ışınlamasının düşük dozları ve etefonun düşük konsantrasyonlarının sürgün çıkış oranını artırdığını; kormların içsel oksin, gibberellin ve büyüme önleyici konsantrasyonlarındaki değişimlerin sürgün gelişimi ve çıkışı aşamaları ile korelasyonlu olduğunu göstermiştir. Çalışmada soğan dikimi sırasında ve filizlenme devam ederken, oksin ve gibberellin seviyesinde kademeli artış olmasına karşılık inhibitörlerin kademeli olarak azaldığı gözlenmiştir. Düşük dozda uyarıcı gama radyasyonu filizlenmenin artışı; oksin ve gibberellinlerdeki artış ve inhibitörlerin kaybolması ile ilişkili bulunmuş, etefona daldırılan kormlarda oksin ve gibberellin aktivitesinde azalma ve inhibitörlerin miktarında artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak gama radyasyonu ve büyüme düzenleyicilerin büyüme ve çiçeklenmeyi etkilediği saptanmıştır [27].

6. Frezya

Frezya bitkisinin aktif büyüme dönemi süresince; hepsi farklı optimum sıcaklık gerektiren dört gelişim aşaması bulunmaktadır. Kormlar içinde sürgün ve yaprakların farklılaşmasının olduğu birinci aşamada 15°C ve üzerindeki sıcaklıklar gerekli olup, bu aşama çiçek tomurcuğu oluşumu başlangıcına kadar olan 3 haftalık süreyi kapsamaktadır. İkinci aşama olan bitkinin çiçek tomurcuğunun oluşumu sürecinde kormlara 12-15°C arasındaki sıcaklıklar uygulanmaktadır. Çiçeklenme başlangıcından antese kadar olan üçüncü aşamada ise bitkiler 21-24°C sıcaklıklara maruz bırakılarak; bitki boyu, bir çiçekteki salkım sayısı ile birlikte korm kütlesi de artırılmaktadır. Son aşama çiçeklenmenin sonu ve ardından dinlenmenin başladığı dönemdir. Frezya kormları dinlenme halinde iken serbest absisik asit (ABA) miktarının yüksek olduğu, serbest ABA miktarının korm dinlenmesinin bitişi sırasında azaldığı ve dinlenmeden tamamen çıkıştan sonra geçici artış gösterdiği bulunmuştur [28]. Dolayısıyla frezya kormlarının dinlenmeden çıkabilmesi, ABA miktarının azaltılması ile doğrudan ilişkilidir.

Frezya kormları sökümden sonra 1-3°C sıcaklıklarda 11 ay kadar uzunca bir süre depolanabilmekte, bu süre bazı durumlarda hasattan dikime kadar 16 aylık bir süreyi bulmaktadır. Bu süreçte korm inaktif halde olup, solunuma bağlı olarak yalnızca ortalama %1,5 ağırlık kaybı meydana gelmektedir. Kormların soğuk depolanması ile bitki boyu, yaprakların kuru ve yaş ağırlıklarının önemli oranda arttığı; erken çiçeklenme, başak uzunluğu ile birlikte başakların kuru ve yaş ağırlığı, sap uzunluğu ve bir başaktaki kandil sayısı, vazo ömrü, kormel sayısı ve yavru kormların kuru ve yaş ağırlığının da depolama süresinin uzaması ile önemli oranda arttığı belirlenmiştir [29]. Kormlar herhangi bir zamanda soğuk depolamadan alınıp, yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıklarında ise dinlenmeden çıkmaktadır. Genel olarak frezya kormları hasattan sonra, 27-31°C sıcaklık ve %60-70 oransal nem (ON)'de 10-17 hafta depolanmakta ve bu aşamaya "hazırlık" adı verilmektedir. Hazırlık aşamasının süresi çeşide ve kormların hasat zamanına bağlı olup, frezya hibritlerinde çiçeklenmenin başlaması için; kormların 30°C'de bekletilmesinin gerekli olduğu, bunun yanı sıra etilen uygulamalarının da sıcak depolamanın etkisini artırarak çok erken filizlenmeyi garanti ettiği belirlenmiştir. Frezya kormlarının 30°C sıcaklıkta 4-8 hafta depolamanın ardından 20°C sıcaklıkta bekletilmesinin dinlenme süresini %30 azalttığı ve depolamanın son gününde 6 saat süreyle 50 µl L⁻¹ etilen uygulamasının ise kök çıkışı herhangi bir uyarıcı etki göstermediği belirlenmiştir. Buna karşılık etilen uygulamasının bir saptaki çiçek sayısını arttırdığı ancak

sap uzunluğu ve toplam ağırlığı azalttığı tespit edilmiştir [30]. Benzer şekilde frezya kormlarının 30°C sıcaklıkta depolanması sırasında herhangi bir zamanda etilen uygulamasının filizlenmeyi uyardığı, 30°C depolamadan 2-4 hafta sonra etilen uygulandığında ise kormların daha erken dönemde filizlendiği bulunmuştur. Etilenin 3-6 saat gibi kısa süreli uygulamasının uzun süreli uygulamalardan daha etkili olduğu, 75 µl L⁻¹ veya daha yüksek etilen konsantrasyonunun etkisinin daha fazla olduğu saptanmıştır [31, 32]. Buna karşılık 2°C'de 6 ay depolanan kormlar için 30°C'de 3 hafta muhafazanın ardından 3 saat etilen uygulamasının dinlenmenin kırılmasında yeterli olduğu da bulunmuştur [31].

Soğuk depolama öncesi, frezya kormlarına etilen uygulandığında da, filizlenme ve köklenmeyi uyarıcı etki gösterdiği, korm başına kök sayısını ve uzunluğunu arttırdığı ve soğuk depolanan kormlar yüksek sıcaklığa alınmadan önce yapılan etilen uygulaması ile bu etkinin daha da arttırıldığı ve uygulama yapılan tüm kormların dikimden sonra 2 hafta içinde filizlendiği belirlenmiştir [33]. Frezyada kormun dinlenmeden çıkması için kullanılan yöntemlerden birisi de bitkisel materyalin yakılması ile elde edilen duman uygulamasıdır. Duman içerisinde etan, etilen (C₂H₄) ve propilen konsantrasyonunun 130 µl L⁻¹'nin; karbon monoksit (CO) konsantrasyonunun ise 200-400 µl L⁻¹ altında olduğu; havadaki 100 µl L⁻¹ gibi düşük seviyelerdeki dışsal C₂H₄'ün dormansinin kırılmasını güçlü bir şekilde uyardığı bulunmuştur. Duman uygulamasına veya etilene maruz kalan kormlar dışsal etilen artışı göstermezken, uygulama yapılmayan kormların dormansiden çıkmadan önce belirgin bir etilen artışı gösterdiği belirlenmiştir [34]. Benzer şekilde frezya kormlarının 5 saat süreyle 10 µl L⁻¹ havadaki etilene ya 3-10 L'lik kapalı sistem altında veya kormların sürekli akan ve etilen içeren havaya maruz bırakılmasının, filizlenmenin uyarılması için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Kapalı sistemde, kormların etilene maruz kalma süresi 5-48 saat arasında değişmesine karşılık, kormların etilene çok az tepki gösterdiği, etilenin uyarıcı etkisinin maruz kalma süresi 5 saatten 48 saate arttıkça azaldığı bulunmuştur. Sonuç olarak kormların etilene 5 saat maruz kalması veya 4 gün duman uygulamasının, soğuk uygulamasının yerini alarak çiçeklenmeyi uyardığı belirlenmiştir [35].

Dinlenmedeki kormlara benziladenin (BA) uygulamasının da, filizlenmeyi arttırdığı buna karşın filizlerin normal büyüme göstermediği, etilen uygulamasının ise filizlenmeyi tamamen uyardığı ve ardından normal büyümeyi sağladığı belirlenmiştir. Frezya kormlarında ABA düzeyindeki değişimler ile etilen üretiminin dormansiden çıkışla ilişkili olduğu ifade edilmiştir [28].

Frezyada korm dinlenmesinin kırılmasında gibberellik asitin de etkili olduğu, 5°C sıcaklıkta 6 hafta depolandıktan sonra dikimi yapılan frezya bitkilerine dikiminden 30 gün sonra, haftalık aralıklarla 3 kez gibberellik asit (200 ppm) püskürtülmesinin; bitki boyu, yaprakların taze ve kuru ağırlıklarını önemli oranda arttırdığı bulunmuştur. Ayrıca soğuk depolama uygulamasının çiçeklenmenin uyarılmasının yanısıra başak uzunluğu, taze ve kuru başak ağırlıkları, salkım uzunluğu, başak başına kandil sayısı, vazo ömrü, kormel sayısı, yavru kormların taze ve kuru ağırlığı üzerinde kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında, sabit ve anlamlı bir artışa neden olduğu bulunmuştur [29].

Frezya kormlarında, dinlenmenin kırılmasının korm ağırlığı ile ilişkili olduğu, 25°C'de nemli kayayünü ortamında saklanan; 3 g'dan ağır olan Cote d' Azur frezya kormlarının hafif olan kormlardan daha erken filizlendiği bulunmuştur. Ayrıca kormellerin bağlı oldukları kormlardan daha sonra sürdüğü ve filizlenme için geçen sürenin kormel ağırlığı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir [36].

7. Zambak

Zambaklar; *Lilium longiflorum*, *Lilium* Asyatik hibritler ve *Lilium* Oryantal hibritler olmak üzere üç sınıfa ayrılmakta olup, bu üç sınıfın çiçek özellikleri de birbirinden farklıdır. Zambak soğanları beyaz ve sarımsı renkte olup, bir sürgün çevresinde birbirine geçmiş şekilde etli pul yapraklar, bir kaç kuru kabuk ile çevrili olarak bulunmakta ve tunika içermemektedir. Zambak soğanlarının çoğunda genel olarak doğal dinlenme bulunmakta ve ticari kesme çiçek üretimi için genellikle dinlenmenin kırılması veya uzatılmasının sağlanmasına odaklanılmaktadır. Kuzey yarımkürede ağustos ayı sonundan aralık ayına kadar hasat edilen zambak soğanları bu dönemde dinlenmedir. Zambak soğanlarında dinlenme dönemi, absisik asit düzeyinin yüksek olması ve solunum hızının az olması ile karakterize edilmekte ve soğuk uygulamaları ile kırılabilir. Soğuk uygulaması belirli bir sıcaklığın altında geçen saat sayısı olarak tanımlanmakta ve derece-saat olarak ifade edilmektedir. Kısa sürede yüksek kaliteli bitkilerin elde edildiği optimum şartlarda *Lilium longiflorum* Thunb'da dinlenmenin kırılması için 2-7°C sıcaklıkta 1000 saat soğuk uygulamasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Soğuk uygulamasının başarılı olabilmesi için soğanların nemli olması gerektiği, soğuk uygulaması sırasında sürgünlerin oluşması durumunda, kalitenin iyileştirilmesi için ışık uygulamasının da yapılabileceği bulunmuştur. Bununla birlikte, kalite bakımından yüksek bitkilerin uzun süreçte elde edildiği veya hızlı bir şekilde düşük kaliteli bir bitki üretimine neden olan kabul edilebilir şartlarda ise,

dinlenme 1-18°C arasındaki sıcaklıklarla ve en az 2 hafta-birkaç ay arasında değişen sürelerdeki soğuk uygulamaları ile kırılabilir [7].

Zambak soğanlarının hasattan sonra ve seraya dikilmeden önce 2-4°C sıcaklıkta en az 8 hafta saklanması dinlenmenin kırılması ve ABA seviyesinin azaltılması için gereklidir. Buna karşılık, zambak soğanlarının içinde bulunduğu toprağın sıcaklığına bağlı olarak dinlenme hasattan önce toprak içerisinde de kırılmaya başlayabilmektedir. Zambak soğanları sıcaklıklar -1(-4)°C'ye düşürülerek, yıl boyunca da depolanabilmektedir. Donma sıcaklıklarında sürgün büyümesi durmakta buna karşın depolama süresince soğanlarda aktif donma oluşmamaktadır. Zambak soğanları özellikle donma sıcaklıklarında saklandığında dehidrasyonu önlemek için nemli torf içinde depolanması gereklidir. Düşük ve yüksek sıcaklık uygulamalarının zambak soğanlarında dinlenmenin kırılması üzerindeki etkisinin belirlenmesi için Hanson zambak (*Lilium hansonii*) çeşidi ile yapılan çalışmada; soğanlara sıcak ön uygulaması yapılarak veya yapılmadan; 1, 4 ve 7°C sıcaklıklarda 35, 50 ve 65 gün süreyle soğuk uygulandıktan sonra serada sterilize ticari toprak karışımı ve vermikülit ortamına 5-10 cm derinlikte dikilmiştir. 45°C sıcaklıktaki suya 1 saat daldırıldıktan sonra 4°C sıcaklıkta 65 gün depolanan soğanlarda, sürgünler daha erken çıktığı aynı zamanda en yüksek çıkış oranının da bu uygulamadan elde edildiği; buna karşın sıcak ön uygulaması yapılmadan 4°C sıcaklıkta 65 gün depolama uygulamasının; sap uzama miktarı ve yaprak sayısı artışı üzerinde sıcak uygulamalarından daha etkili olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, sıcak su uygulamasının özellikle çıkış için gerekli süreyi azaltarak *L. hansonii* zambak çeşidinin soğan dinlenmesinin kırılması üzerinde önemli bir etkisi olduğu ayrıca sıcak su ön-uygulamasının soğanlarda içsel şartları dengeleyerek, soğanların fizyolojik durumunun bir örneğini sağladığı da tespit edilmiştir [37].

Zambak soğanlarında soğuk depolamanın ilk 34 gününde nişasta parçalanması ile şeker, fenol ve içsel GA₃ miktarındaki artışın doğrudan ilişkili olduğu, bu süreçte soğanlarda tomurcukların hızla gelişerek soğanların dormansiden çıktığı belirtilmiştir. Bununla birlikte bu süreçte soğanların yavaş sürdüğü ve daha zayıf geliştiği bulunmuştur. Soğuk uygulama dereceleri de soğanın dinlenmeden çıkışında etkili bulunmuş, 2°C ve 6°C'de soğuk depolama uygulamasındaki soğanların tomurcuklarının 10°C'de depolanan soğanlarından daha iyi geliştiği belirlenmiştir. İncelenen sıcaklıklardan özellikle 2°C'nin etkili olduğu ve bu sıcaklıkta 101 gün süreyle depolamanın *L. davidii* var. *Unicolor* soğanlarında dinlenmenin kırılması ile bitki gelişimi ve filizlenme için en iyi uygulama olduğu tespit edilmiştir [38]. *Lilium*

rubellum zambak soğanlarında dinlenme sırasında içsel absizik asit (ABA) ve çözünür şeker miktarının belirlenmesine yönelik yapılan araştırmada, soğanların 4°C sıcaklıkta 14 hafta süreyle depolanmasının; içsel ABA miktarının azalmasına dolayısıyla dinlenmenin kırılmasına neden olduğu bulunmuştur. Ayrıca soğuk depolama süresince çözünür şekerlerden sakkaroz miktarının 10 hafta depolama süresince artış gösterdiği ancak daha sonra ise azaldığı buna karşılık glikoz ve fruktoz miktarının soğuk uygulamasının başlangıcından depolama süresi sonuna kadar arttığı belirlenmiştir [39]. Zambak soğanlarında soğuk uygulamasının, tepe tomurcuğunda ABA seviyesinin azalmasına, soğanın filizlenmesinde anahtar bileşik olan GA₃ miktarının ve GA₃/ABA oranının artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda bu süreçte nişastanın hızlı parçalanmasını sağlayan amilaz aktivitesinin artması, çözünür şeker miktarının yükselmesine ve tomurcuk uzamasının teşvikine yol açmıştır. Bundan başka PAL aktivitesindeki artış, tomurcukların gelişimini uyarabilen fenollerin miktarını arttırmıştır [40].

Zambak soğanlarında, soğanın üzerindeki pul yapraklar da dinlenme üzerinde etkili olabilmektedir. *L. longiflorum*'da yeni pul yapraklarda inhibitörlerin üretildiği ve bu yeni yaprakların çıkarılmasının filizlenme ve çiçeklenmeyi uyardığı belirlenmiştir. *L. davidii* var. unicolor zambak çeşidinde, ana soğan, yavru soğan ve bazal gövdenin tepe tomurcuğunun metabolik değişimi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, dış yapraklar (1. ve 2. tabakadaki yapraklar) orta yapraklar (3. ve 4. tabakadaki yapraklar) ve iç yapraklar (5-8 tabakadaki yapraklar) incelenmiştir. Soğanın bütün parçaları soğanın gelişimi ve dinlenme süresince karbonhidrat, fenol, serbest amino asitler ve içsel hormonlarda belirgin değişimler göstermekle birlikte tepe tomurcuk ve bazal gövdedeki değişim miktarı pul yapraklardan daha fazla olurken, dış yaprakların orta ve iç yapraklara göre daha aktif olduğu da tespit edilmiştir. Dolayısıyla zambak yumrularında dinlenme tepe tomurcuğu ve ana gövde esas alınarak incelenmesine karşılık tomurcukların gelişimi üzerine pul yapraklar ve bazal gövdenin de etkisi olduğu bulunmuştur [41]. Pul yapraklarda düşük sıcaklıkta ABA miktarı azalırken, GA₃ miktarı ve GA₃/ABA oranı başlangıçta artmış, bu reaksiyonlar amilaz ve PAL aktivitesindeki artışı, düşük sıcaklığın doğrudan etkisinin dışında uyarmıştır. Nişastanın parçalanmasından şeker miktarının artması tepe tomurcuğunun büyümesi için enerji sağlamıştır. Bazal gövde tomurcuk ve pul yaprakları bir arada tutarak, GA₃, amilaz ve PAL gibi maddelerin önemli kaynağını sağlar. Soğanların filizlenmesi ve bu maddelerin metabolizması değişik depolama sıcaklıkları arasında önemli oranda farklıdır. Maddelerin fazla miktarda tüketilmesi ve çözünür şekerlerin yetersizliği yüksek

sıcaklıklarda depolanan soğanların filizlenme kapasitesinin azalmasına yol açar [40].

Fotoperiyodizm uygulaması da tamamen veya kısmen soğuk uygulaması yerine kullanılabilir. Örneğin, *L. longiflorum*'da uzun fotoperiyodizm uygulaması ile 4-6 haftalık soğuk uygulaması gerekliliği ortadan kalkmakla birlikte uzun gün uygulaması en az 1-2 hafta soğuk kullanılmasını da gerektirdiğinden tek başına çiçeklenmeyi tetiklemektedir [7].

Zambaklarda dinlenmenin kırılması ile çiçek tomurcuğu oluşarak, çiçeklenme meydana gelmektedir. Zambaklar üç farklı sınıfa ayrıldığından bunlarda çiçek tomurcuğu dört farklı gelişim aşaması göstermektedir. Birinci tipte, çiçek tomurcuğu yaz sonunda oluşup, sonbaharda iyi bir şekilde gelişmekte iken, ikinci tipte çiçek tomurcuğu yaz sonunda oluşmaya başlamakta ve gelişmesini izleyen ilkbahara kadar tamamlanmamaktadır. Üçüncü tipte, çiçek tomurcuğu ilkbaharda sürgün çıkışı öncesinde oluşup, gelişmekte iken dördüncü tipte çiçek tomurcuğu ilkbaharda sürgün çıkışından sonra oluşmaktadır. Oryantal hibrit çeşitlerinde bu sınıfların hepsi görülebilmektedir. Serada çiçeklenme şartları, gündüz ve gece sıcaklıkları, ışıklandırma ve fotoperiyot çiçek kalitesi ve çiçeklenme zamanı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Işıklanmanın artırılması çiçek gelişim oranı ve oluşan çiçek sayısını arttırmaya karşılık bitki boyunun azalmasına yol açmaktadır. Gündüz ve gece sıcaklıkları arasındaki farklılıklar da bitki boyunu, çiçeklenme için geçen gün sayısını ve anormal çiçek sayısını da etkilemektedir [15].

8. Sonuç

Bu çalışmada glayöl, frezya ve zambak gibi soğanlı ve kormlu bitkilerde dinlenme, dinlenmenin kırılması ve çiçeklenme oluşumunun mekanizması ile bunu etkileyen faktörler incelenmiştir. Araştırmada dinlenmenin içsel hormonların, sıcaklık ve ışık ile birlikte eş zamanlı faaliyeti sonucu oluşmasına karşın içsel bitki büyüme düzenleyicilerin de bu konuda etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, soğan dinlenmesinde gibberellinler ve absizik asit gibi iki grup hormonun etkili olduğu, soğanın dinlenmeden çıkması için ya soğuk veya sıcak uygulamaları ile ABA miktarının azaltılması veya dışsal GA₃ uygulamaları ile oransal olarak büyüme uyarıcılarının miktarının artırılması gerektiği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kamenetsky R., Okubo H., 2012. Ornamental Geophytes: from Basic Science to Sustainable Production. CRC Press, 597.

- [2] Le Nard M., 1983. Physiology and storage of bulbs: concepts and nature of dormancy in bulbs. Ed.: Lieberman M., Post-Harvest Physiology and Crop Preservation, Springer, 191-230.
- [3] Anonymous, 2019a. From Seed to Seed, Plant Science for K-8 Educators. <https://garden.org/onlinecourse/PartI57.htm>. (Erişim Tarihi:08.03.2019).
- [4] Thomas P., Wade G., Pennisi B., 2012. Flowering Bulbs for Georgia Gardens. University of Georgia Cooperative Extension Bulletin, 918. (Erişim Tarihi:08.03.2019).
- [5] Anonymous, 2019b. Plant Propagation. <https://horticulture.tekura.school.nz/plant-propagation/plant-propagation-3/ht1093-plant-propagation-3-study-plan/division/>, (Erişim Tarihi: 08.03.2019).
- [6] Anonymous, 2018. Flower bulbs: A Review. http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/72514/7/06_literature%20review.pdf, (Erişim Tarihi: 08.03.2019).
- [7] Dole J., 2003. Research approaches for determining cold requirements for forcing and flowering of geophytes. HortScience, **38**(3), 341-346.
- [8] Okubo H., 2012. Dormancy. Ornamental geophytes, from basic science to sustainable production. Ed. Kamenetsky R., Okubo H., Boca Raton: CRC Press, 233.
- [9] Bewley J., 1997. Seed germination and dormancy. The Plant Cell, **9**, 1055-1066.
- [10] Carter C., Partis M., Thomas B., 1999. The expression of histone 2A in onion (*Allium cepa*) during the onset of dormancy, storage and emergence from dormancy. New Phytol., **143**, 461-470.
- [11] Romberger J., 1963. Meristems, Growth and Development in Woody Plants. U.S. Dept. of Agr.Tech. Bul.
- [12] Lang G., Early J., Martin G., Darnel R., 1987. Endodormancy, paradormancy, and ecodormancy-physiological terminology and classification for dormancy research. Hortscience, **22**, 371-377.
- [13] Dennis F., 2001. Dormancy: manifestations and causes handbook of plant and crop physiology. Ed.: Pessaraki M., Second Edition (Revised and Expanded), Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, FL, 943.
- [14] Borochoy A., Spiegelstein H., Weiss D., 1997. Dormancy and storage of geophytes. Acta Horticulturae, **430**, 405-409.
- [15] Kilsdonk, M. 2002. General Information (Chapter 1). <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/1874/1771/26/c1.pdf>, (Erişim Tarihi: 15.11.2019).
- [16] Dole J., Wilkins H., 1999. Liliium, Easter. Floriculture: Principles and Species. NJ: Upper Saddle River, Prentice Hall, 400-416.
- [17] Manimaran P., Ghosh S., Priyanka R., 2017. Bulb size and growth regulators on the growth and performance of bulbous ornamental crops - A Review. Chem.Sci.Rev.Lett, **6**(22), 1277-1284.
- [18] Hartsema A.M., 1961. In:Encyclopedia of Plant Physiology. Ed: Ruhland W., Springer -verlag, Berlin **16**,123-167.
- [19] Malik S., Kumar M., Singh M., 2009. Dormancy in gladiolus: The cause and remedy-A review. Journal of Plant Development Sciences, **1**(1-2), 45-47.
- [20] Wu J., Seng S., Su J., Vonapartis E., Luo X., Gong B., Yi M., 2015. Gladiolus hybridus abscisic acid insensitive 5 (GhABI5) is an important transcription factor in ABA signaling that can enhance gladiolus corm dormancy and Arabidopsis seed dormancy. Front Plant Sci., **6**, 690.
- [21] Zalewska M., Antkowiak M., 2009. Effect of corm storage temperature on the growth and flowering of gladiolus L. in the glasshouse. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, EJPAU, **12**(1), 03.
- [22] Bhujbal G., Chavan N., Mehetre S., 2014. Importance of growth regulator and cold storage treatments for breaking of Gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) corm dormancy. The Bioscan, **9**(2), 501-505.
- [23] Khan F.N., Rahman M.M., Hossain M.M., 2013. Effect of benzyladenine and gibberellic acid on dormancy breaking, growth and yield of gladiolus corms over different storage periods. Journal of Ornamental and Horticultural Plants, **3**(1), 59-71.
- [24] Sajid M., Anjum M., Hussain S., 2015. Foliar application of plant growth regulators affects growth, Flowering, vase life and corm production of gladiolus grandiflorus L. under calcareous soil. Bulgarian Journal of Agricultural Science, **21**(5), 982-989.
- [25] Padmalatha T., Reddy S., Chandrasekhara R., Shankar S., Chaturvedi A., 2013. Effect of pre-planting soaking of corms with chemicals and plant growth regulators on dormancy breaking and corm and cormel production in gladiolus. International Journal Of Plant Animal and Environmental Sciences, **3**(1), 28-33.

- [26] Piya S., Bajracharya A., Mandal J., Choudhary B., 2012. Dormancy breaking of gladiolus cv. Jester for the mid hills of Nepal. *Journal of Horticulture and Forestry*, **4**(3), 54-60.
- [27] Awad A., Elbahr K., 1986. Growth regulators and γ -irradiation treatments. *Acta Horticulturae*, 612-612.
- [28] Uyemura S., Imanishi H., 1987. Changes in abscisic acid levels during dormancy release in freesia corms. *Plant Growth Regulation*, **5**(2), 97-103.
- [29] El-Bably S., 2016. Response of freesia refracta (Jacq), plant to corms cold storage, gibberellic acid and their interactions in North Delta, Egypt. *Middle East Journal of Agriculture Research*, **5**(4), 507-521.
- [30] Berghoef J., Zevenbergen A., Imanishi H., 1986. The effect of temperature and ethylene on dormancy of freesia corms. *Acta Horticulturae*, **177**, 631-635.
- [31] Imanishi H., Berghoef J., 1986. Some factors affecting dormancy-breaking by ethylene in freesia corms. *Acta Horticulturae*, **177**, 637-640.
- [32] Ehrich L., 2014. Flowering in south african iridaceae. Ed.: Ramawat K., Merillan J., *Bulbous Plants: Biotechnology*. CRC Press, Taylor&Francis Group, 248-271.
- [33] Masuda M., Asahira T., 1980. Effect of ethylene on breaking dormancy of freesia corms. *Scientia Horticulturae*, **13**(1), 85-92.
- [34] Uyemura S., Imanishi H., 1983. Effects of gaseous compounds in smoke on dormancy release in freesia corms. *Scientia Horticulturae*, **20**(1), 91-99.
- [35] Uyemura S., Imanishi H., 1984. Effects of duration of exposure to ethylene on dormancy release in freesia corms. *Scientia Horticulturae*, **22**(4), 383-390.
- [36] Imamura Y., Doi M., Imanishi H., 1996. Differences in dormancy release and flowering responses to chilling in freesia corms and cormlets. *Journal of the Japanese Society*, **65**(1).
- [37] Lucidos J.G., Younis A., Hwang Y.J., Lim K.B., 2014. Determination of optimum conditions for breaking bulb dormancy in relation to growth and flowering in *Lilium hansonii*. *Horticulture Environment and Biotechnology*, **55**(4), 257-262.
- [38] Sun H., Li T., Li Y., 2004. Relations between starch metabolism and germination of *Lilium davidii* var. unicolor bulbs stored at different cold temperature. *Acta Horticulturae Sinica*, **31**, 337-342.
- [39] Xu R., Niimi Y., Han D., 2006. Changes in endogenous abscisic acid and soluble sugars levels during dormancy-release in bulbs of *Lilium rubellum*. *Scientia Horticulturae*, **111**(1), 68-72.
- [40] Sun H., da Silva J., Li Y., Li T., 2007. Effects of low temperature on dormancy release in lily bulbs. *Floriculture and ornamental Biotechnology*, **1**(1), 41-45.
- [41] Sun H., Li T., Li Y., 2006. Regulation of endogenous abscisic acid on substances changes in terminal bud of *Lilium davidii* var. unicolor bulbs during dormancy-release. *Scientia Silvae Sinicae*, **42**, 19-23.



Altın Nanoparçacıkların Gözenekli Silisyumun Optik Özellikleri Üzerine Etkileri

The Effects of Gold Nanoparticles on the Optical Properties of Porous Silicon

Merve TİRYAKİOL^{1,*} , Ersin KAYAHAN² 

¹ Elektro-Optik Sistem Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-0246-0225

² Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (LATARUM), Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-5933-9824

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 07/05/2019

Kabul Tarihi : 17/06/2019

Anahtar Kelimeler

Altın Nanoparçacıklar
Foto-luminesans
Gözenekli Silisyum
Lazer Ablasyon
Nemlilik Sensörü

Research Paper

Received Date : 07/05/2019

Accepted Date : 17/06/2019

Keywords

Gold Nanoparticles
Photoluminescence
Porous Silicon
Laser Ablation
Humidity Sensor

Özet

Gözenekli Silisyum (PS), uygun maliyeti, üstün elektro-optik özellikleri sebebiyle son yıllarda sensör uygulamaları için ciddi araştırma konusu haline gelmiştir. Altın nanoparçacıklar görünür ve kızılötesi spektrumda gösterdiği mükemmel optik özellikleri sayesinde son yıllarda biyolojik ve kimyasal sensör uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, altın nanoparçacıkların (AuNP) gözenekli Silisyumun optik özellikleri üzerine etkisi ve buna bağlı olarak nemlilik sensörü olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Altın nanoparçacıkların lazer ablasyon yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmiş, distile su içerisinde üretilen altın nanoparçacıklar, elektrokimyasal aşındırma yöntemiyle üretilen gözenekli silisyuma döndürmeli kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Elde edilen yapıların Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FTIR) ve farklı nemlilik oranlarında fotoluminesans spektrumları incelenmiştir. AuNP'ların farklı nemlilik değerlerinde alınan foto-luminesans şiddetini arttırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar AuNP-PS yapılarının nemlilik sensörü olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Abstract

Porous Silicon (PS) has become the subject of research for sensor applications in recent years due to its cost-effective, electro-optical properties. Gold nanoparticles are used in biological and chemical sensor applications in recent years due to their excellent optical properties in the infrared and visible spectrum. In this study, the effect of gold nanoparticles on the optical properties of porous silicon and the developability as the humidity sensor were investigated. Gold nanoparticles were produced by laser ablation method and coated PS surface by spin coating method which is produced electrochemical etching technique. The AuNP coated PS were investigated Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) and photoluminescence spectra under various humidity levels. It is shown that photoluminescence intensity increase when PS surface coated by AuNP. It is also shown from obtained results that AuNP-PS structures can be use as humidity sensor.

1. Giriş

Gözenekli Silisyum (GS), sünger benzeri ağısı bir kristal yapısı ve nanometre boyutlarında gözenekleri olan yarı iletken bir malzemedir [1]. Gözenekli yapısına bağlı büyük yüzey/hacim oranı, üretim kolaylığı ve uygun maliyeti, son yıllarda gözenekli Silisyumu ilgi çekici hale getirmiştir [2]. Fotonik ve sensör uygulamalarının yanı sıra

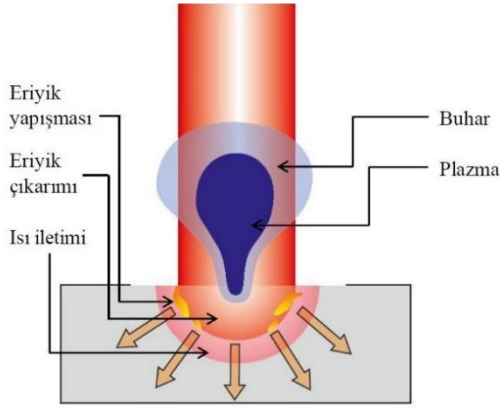
optik özellikleri ve fotoluminesans verimliliği GS'nin başlıca araştırma konularıdır [3-4]. Gözenekli silisyum, kararsız bir yapıda olmasından dolayı hava ortamında oksidasyona uğrayabilir ve böylelikle yüzey yapısı bozulabilir [5]. Bu nedenle yüzeyin pasifleştirilmesi ve dolayısıyla stabilize edilmesi bir gereksinim haline gelmiştir. Soy metal iyonlarıyla yüzeyin pasifleştirilmesi ekonomik bir alternatif yöntemdir. Malzeme yüzeyinin pasivasyonu için bakır, gümüş, platin gibi metaller kullanılmıştır. Altın nanoparçacıkların (AuNPs) eklenmesi

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): mervetiryakiol@gmail.com



de malzeme kararlılığında önemli rol oynamaktadır. Buna ek olarak, metal nanoparçacıklar yüzey plazmon rezonans özelliği gösterebildiğinden nanokristallerin spektral özelliklerini iyileştirmektedir [6-9]. Nanokristal ve nanoparçacık arasındaki etkileşim, yarı iletken-metal arayüzey arasında yük aktarımını sağladığından emisyon verimliliği de artmaktadır. AuNPs görünür bölgeden IR bölge yakınlarına kadar uzanan bir aralıkta güçlü optik absorpsiyon ve saçılma özellikleri gösterir.

Nanoparçacık üretim yöntemlerinden biri, “yukarıdan aşağıya” üretim yöntemlerinden biri olan lazer ablasyon yöntemidir. Bu yöntemde sıvı içindeki metal bir plakanın yüzeyine kısa enerjili lazer darbeleri uygulanır. Lazer ablasyon, lazer ışını ile malzeme yüzeyinin fototermal etkileşimi sonucu malzeme yüzeyinden parça koparılması işlemidir. Kopan parçalar lazer ışınının enerjisine göre mikro veya nano boyutlarda olabilir. Nanosaniye atım uzunluğuna sahip bir lazer ışını metal plaka üzerine düştüğünde yüzeyde bir sıcaklık alanının oluşmasına neden olur. Metal plaka enerjisi soğurur, ardından malzeme yüzeyinde buharlaşma meydana gelir. Oluşan buhar bulutu metalden kopan atomları ve elektronları içerir. Son olarak, yüzeyden dışarı doğru ilerleyen buhar bulutu soğur ve buharlaşan atomlar nanoparçacık olarak yoğunlaşır. Şekil 1, lazer ablasyon yöntemi ile nanoparçacık oluşumunu ve lazer ışınının malzeme ile etkileşimini göstermektedir [10].



Şekil 1. Lazer ablasyon yöntemiyle nanoparçacık oluşumu [10].

Bu yöntemin özellikleri, basit ve düşük maliyetli olması, vakum ortamı gerektirmemesi ve temiz olmasıdır [11-14]. Burada temizden kasıt, üretilen nanoparçacık ile üretildiği ortam veya yardımcı madde arasında kontaminasyon oluşmamasıdır. Metal nanoparçacıkların şekil ve boyut gibi özellikleri, atım süresi (nanosaniye, femtosaniye, pikosaniye), alan başına düşen enerji ve dalga boyu gibi lazer parametrelerine, metalin türüne, içinde üretildiği sıvının cinsine, lazer merceği ile malzeme arasındaki mesafeye bağlıdır [15-18]. Altın, gümüş, platin ve nikel gibi birçok soy metal bu yöntemle üretilebilir

[19-21]. AuNPs büyüklük ve morfolojilerine bağlı mükemmel fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle bilim dünyasında dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır. Gösterdikleri kararlı fiziksel ve kimyasal yapı, ayrıca fotonik ve optik özellikleri sebebiyle sağlık, sensör ve elektronik alanlarında yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada AuNPs GS yüzeyine kaplanması sonucu lüminesans şiddetinde meydana getirdiği olumlu etkisinin nemlilik sensöründe kullanımı araştırılmıştır.

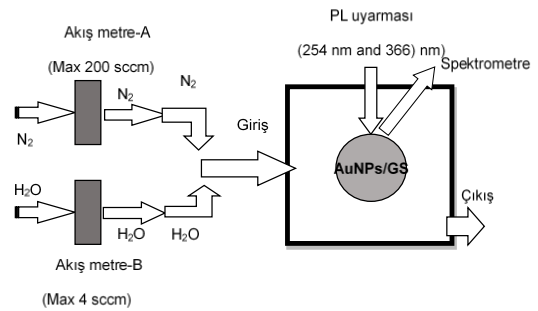
2. Malzeme ve Yöntem

Altın nanoparçacıklar 3 ml distile su içeren cam kap içine yerleştirilen altın hedefin lazer ablasyonu ile üretilmiştir. Hedefe, Nanosaniye mertebesinde atımlı, 1064nm dalga boyuna sahip Q-Anahtarlamalı Nd: YAG lazer tarafından 500 atım uygulandı. Hedef ile lens arasındaki mesafe 12 cm olarak ayarlandı.

Gözenekli silisyum elektrokimyasal aşındırma yöntemi ile üretilmiştir. Bu işlem için p tipi, (100) yönelime, (550±50) µm kalınlığa sahip ve (1,5-5) Ω.cm öz dirençli kristal Silisyum kullanıldı. Aşındırma işlemi gerçekleştirmek için, Silisyum numunesinin anot olarak işlev gördüğü HF asidine dayanıklı teflon hücre kullanıldı. Katot olarak ise Platin tel kullanıldı.

AuNPs'nin PS yüzeyine kaplanması için dönmeli kaplama (spin coater) düşük hızlarda kullanıldı.

AuNPs katılanmış GS yüzeyinin farklı nemlilik ortamlarında vereceği lüminesans tepkisini ölçmek için Şekil 2'de verilen düzenek kuruldu. Yüzey kimyasal özellikleri FTIR spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ile incelendi.

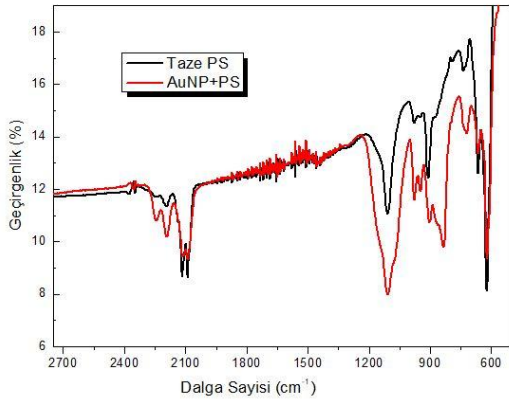


Şekil 2. Nemlilik ölçümü için kurulan deneysel düzenek [4].

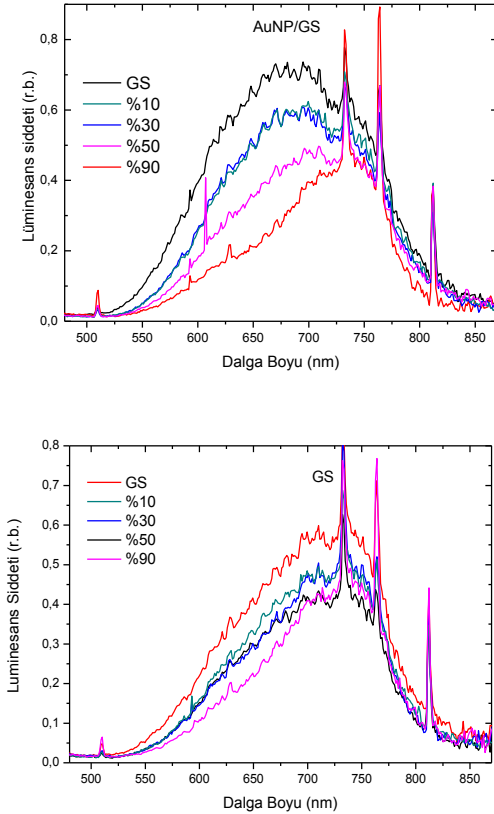
3. Bulgular ve Tartışma

Malzemelerin yüzey kimyasal bileşimi FTIR ile incelenmiştir. Elde edilen FTIR spektrumu Şekil 3'de verilmiştir. Burada 2050-2150 cm⁻¹'deki pikler Si-Hx bağlarına ait soğurma pikleridir. Benzer şekilde 2190 ve 2245cm⁻¹'deki bulunan O₂SiH₂ ve O₃SiH moleküllerine ait

soğurma piklerin Au kaplanmış numunede arttığı görülmektedir. GS'nin kaplamaya bağlı etkisi en belirgin şekilde 1100 cm^{-1} 'de bulunan Si-O-Si molekülüne ait asimetrik gerilme pikinde gözlenmektedir. Kaplama ile bu pikin şiddetinde bir artma oluşmaktadır. 880 cm^{-1} 'deki oksitlenmiş Si-Hx deformasyon pikinin kaplama ile arttığı gözlenmektedir. Elde edilen bu sonuçlardan yola çıkarak, AuNPs kaplamanın yüzeydeki zayıf Si-H bağlarındaki hidrojenin ayrılmasına ve daha kuvvetli olan oksijen ilişkili bağların (Si-O-Si veya Si-Ox şeklinde) artmasına neden olduğu açık olarak görülmektedir.



Şekil 3. AuNPs katkılı ve katkısız gözenekli silisyumun FTIR spektrumu.



Şekil 4. Farklı nemliliklerinde AuNP/GS ve GS'nin fotoluminesans spektrumları.

Şekil 4, Au nanoparçacık katkılı ve katkısız gözenekli Silisyumun, farklı nemlilik değerlerinde fotoluminesans spektrumunda meydana gelen değişimi göstermektedir. Şekil 4'ten de anlaşılacağı gibi artan nemlilik değerleri ile lüminesans şiddeti azalmıştır. Bu durum su moleküllerinin GS yüzeyinde yoğunlaşmasına bağlı olarak optik özelliklerindeki değişimle açıklanabilir. Ayrıca AuNP ile katkılı olduğunda bu tepki daha fazla olmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada altın nanoparçacık katkılı gözenekli silisyumun farklı nemlilik değerlerindeki lüminesans spektrumunun değişimi incelenmiştir. Artan nemlilik değerlerinde fotoluminesans şiddet değerinin azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla GS yüzeyi su buharına karşı duyarlıdır ve gözenekli silisyum yüzeyine AuNPs ile kaplanması bu duyarlılığı artırır.

Kaynaklar

- [1] Nayef U.M., Khudhair I.M., Kayahan E., 2017. Organic vapor sensor using photoluminescence of laser ablated gold nanoparticles on porous silicon. *Optik*, **144**, 546-552.
- [2] Hosny M., Wissem D., Ikbil H., Hatem E., 2014. Influence of gold nanoparticle deposition on porous silicon properties. *Sensors & Transducers*, **27**, 202-208.
- [3] Amran T., Hashim R., Al-Obaidi N., Yazid H., Adnan R., 2013. Optical absorption and photoluminescence studies of gold nanoparticles deposited on porous silicon. *Nanoscale Research Letters*, **8**(35), 1-6.
- [4] Kayahan E., 2015. Porous silicon based humidity sensor. *Acta Physica Polonica A*, **127**(4), 1397-1399.
- [5] Kayahan E., Ceylan N., Esmer K., 2008. Ag-metallization effects on optical and electrical properties of porous silicon. *Applied Surface Science*, **255**, 2808-2812.
- [6] Kanungo J., 2010. Surface treatment of nanoporous silicon with noble metal ion and characterization. *Applied Surface Science*, **256**, 4231-4240.
- [7] Woodruff J.H., Ratchford J.B., Goldthorpe I.A., McIntyre P.C., Chidsey C., 2007. Vertically oriented germanium nanowires grown from gold colloids on silicon substrates and subsequent gold removal. *Nano Letters*, **7**, 1637-1642.
- [8] Asquini C.P., 2013. Laser induced breakdown spectroscopy (LIBS). Editors: Denker B., Shklovsky

- E., Handbook of Solid-State Lasers, 1st ed., Woodhead Publishing, Sawston, England.
- [9] Petersen S., Barcikowski S., 2009. Conjugation efficiency of laser-based bioconjugation of gold nanoparticles with nucleic acid. *J. of Phys. Chem.*, **113**, 19830-19835.
- [10] Akman E., 2012. Femtosaniye lazerle metalik nanoyapıların oluşturulması ve biyolojik uygulamalar. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 323163.
- [11] Xu X., Ryu J.W., Willis D.A., 1999. Pulsed laser machining of thin films for microsensor development. *Laser Institute of America Conference Proceedings*, **88**, 160-166.
- [12] Demir P., 2014. Numerical and experimental investigation of interaction of nanosecond laser beam with metal materials. Doctoral Thesis, Kocaeli University Institute of Natural Sciences, Kocaeli, Turkey.
- [13] Naqavi I.Z., 2001. Conduction and non-conduction limited laser heating process-mathematical simulation. Master of Science Thesis, King Fahd University of Petroleum and Minerals, College of Graduate Studies, Dhahran, Saudi Arabia.
- [14] Miroshnikova N., Sjö Dahl M., Gren P., Sarady I., 2005. Percussion hole drilling of metals with a fourth-harmonic nd:yag laser studied by defocused laser speckle correlation. *Appl. Opt.*, **44**, 3403-3408.
- [15] Ameer-Beg S., Perrie W., Rathbone S., Wright J., Weaver W., Champoux H., 1998. Femtosecond laser microstructuring of materials. *Appl. Surf. Sci.*, **127-129**, 875-880.
- [16] Marcinkevicius A., Juodkasis S., Watanabe M., Miwa M., Matsuo S., Misawa H., Nishii J., 2001. Femtosecond laser-assisted three-dimensional microfabrication in silica. *Opt. Lett.*, **26**, 277-279.
- [17] Xu X., Ryu J.W., Willis D.A., 1999. Pulsed laser machining of thin films for microsensor development. *Laser Institute of America Conference Proceedings*, **88**, 160-166.
- [18] Patel R.S., Redmond T.F., Tessler C., Tudryn D., Pulaski D., 1995. Laser via ablation technology for mcm-d fabrication at ibm microelectronics. *Int. J. Microcirc. Electron. Packaging*, **18**, 266-273.
- [19] Yalukova O., Miroshnikova N., Gren P., Sarady I., Sjö Dahl M., 2005. Investigation of laser percussion hole drilling by use of speckle correlation. *Appl. Opt.*, **44**, 6338-6344.
- [20] Winefordner J.D., Gornushkin I.B., Pappas D., Matveev O.I., Smith B.W., 2000. Novel uses of lasers in atomic spectroscopy. *J. Anal. At. Spectrom.*, **15**, 1161-1189.
- [21] Becker M.F., Brock J.R., Cai H., Henneke D.E., Keto J.W., Lee J., Nichols W.T., Glicksman H.D., 1998. Metal nanoparticles generated by laser ablation. *Nanostructured Mater.*, **10**, 853-863.



Yapılarda Yer Radarı Uygulamaları ve Ayırık Dalgacık Dönüşümleriyle Yorumlama

Ground Penetrating Radar Applications in Construction and Interpretation with Discrete Wavelet Transform

Seray BOZKURT^{1,*} , Bülent ORUÇ² 

¹ Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-0277-2050

² Jeofizik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-6022-985X

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 31/05/2019

Kabul Tarihi : 03/12/2019

Anahtar Kelimeler

Ayrık Dalgacık Dönüşümü
Radargram
Veri İşlem
Yer Radarı

Research Paper

Received Date : 31/05/2019

Accepted Date : 03/12/2019

Keywords

Discrete Wavelet Transform
Radargram
Data Processing
Ground Penetrating Radar

Özet

Yer radarı yöntemi (GPR) arazi uygulamalarından başka, yapılar içerisinde de kullanılmaktadır. Bu durumda yöntem bir yapı jeofiziği tekniği olarak yapısal elamanların görüntülenmesinde uygulanabilmektedir. Bu çalışmada laboratuvar ortamında, içinde tek bir demir çubuk bulunan model beton blok ve yapı tabanında radar kesitleri alınmıştır. Radar kesitlerinin yapı jeofiziği bağlamında yorumlanmasında yeni bir veri işlem tekniği olarak Ayırık Dalgacık Dönüşümü (ADD) tekniği kullanılmıştır. Radar kesitleri iki boyutlu veri setleri biçiminde elde edildiğinden, kesitlere iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümü uygulanarak veri içerisinde yer alan yatay, düşey, köşegen ve yaklaşık bileşenlerine ayrılmıştır. Bileşenlerin karakteristik değişimlerinden yapı içerisinde uzanan demir donatıların derinlik ve konumlarına yönelik bilgiler elde edilmiştir.

Abstract

The Ground Penetrating Radar (GPR) method is commonly used in buildings besides land surveys. In this case, the GPR method in construction can be applied to image the elements in the structures. In this study, in the laboratory environment, GPR sections were acquired from model concrete block with a single iron rod and structure base. A new data processing technique as a discrete wavelet transform was used to interpret the radar sections in terms of construction geophysics. As the radar sections are obtained in the form of two-dimensional data sets, two-dimensional discrete wavelet transform is applied to the sections and divided into horizontal, vertical, diagonal and approximate components. The results from characteristics of components were obtained the depth and horizontal location of the iron reinforcements within the structure.

1. Giriş

Jeofizikte gözlemsel veriler fiziksel büyüklüklerin yerindeki dağılımını bulmak amacıyla toplanır, işlenir ve yorumlanır. Jeofizik gözlem verileri içinde bir çok olay gizlidir. İlk ölçülen veriler henüz işlenmediği için kaba veya ham veriler olarak tanımlanır. Jeofizik verilerin içinde istenmeyen etkiler olarak tanımlanan gürültüler bulunabilmektedir. Aranılan sinyalin yığılması ve anomali

kaynaklarının görüntülenmesi jeofizik veri işlem ve yorumlamanın temel işlem adımlarıdır. Bu nedenle doğrudan yorumlanamazlar. Verilerin karakteristik değişimlerinin incelenmesi amacıyla dalgacık dönüşümleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Jeofizik çeşitli alanlarında dalgacık dönüşümleri önemli çözümler sunmaktadır.

ADD aynı zamanda veri ayrışımında uygulanan dalgacık tabanlı çok ölçekli analiz olarak da tanımlanır. Kaynak [1-2], ayırık dalgacık dönüşümlerinin gravite ve manyetik anomalilerin işlenmesinde ve bileşenlerine

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): abmseray@gmail.com



ayrılmasında kullanmışlardır. Kaynak [3]'de ayrık dalgacık dönüşümleri kullanılarak gravite verilerinin çeşitli bileşenlere ayrılmasıyla derin jeolojik yapıların yorumlanabileceği gösterilmiştir. Kaynak [4], çok ölçekli dalgacık analizleriyle gözlem verilerinin süzgeçlenebileceğini göstermiştir. Kaynak [5]'de bölgesel ve yerel anomalilerin ayırımında dalgacık dönüşümleri kullanılmıştır. Kaynak [6], ayrık dalgacık dönüşümlerinin fay tipi jeolojik süreksizliklerin izlenmesine yönelik çözümler ürettiğini göstermiştir.

Bu çalışmada yapı jeofiziği uygulaması olarak etkin bir hasarsız yöntem olan yer radarı yönteminin beton blok ve yapı tabanında uzanan demir donatının yerlerinin görüntülenmesindeki etkinliği araştırılmıştır. Ayrıca bilindiği kadarıyla literatürde rastlanmayan radar kesitlerine iki boyutlu ADD uygulanarak yorumlamanın kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Böylece yöntemin demir donatılardan kaynaklanan sinyallerin yığılması ve görüntülenmesindeki etkinliği araştırılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

Yer radarı yöntemi yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yansıma özelliklerine göre çözüm üreten bir yöntemdir. Bu yöntemde verici ve alıcı antenler ve bir kayıt ünitesi bulunmaktadır. Verici anten yardımıyla sığ derinliklere yüksek frekanslı elektromanyetik (EM) dalga gönderilerek bu dalganın herhangi bir anomali kaynağı veya arayüzey sınırından yansıma ve saçılmaya uğrayıp uğramadığı gözlenir. Kaynaktan yansıyan ve saçılan EM dalgaları yüzeydeki alıcı anten yardımıyla kaydedilir. Elektromanyetik dalgaların gidiş geliş zamanlarının fonksiyonu olarak dalgalar kaydedildiğinde çok sayıda radar izleri elde edilmiş olur. Gömülü kaynakların fiziksel özelliklerine bağlı olarak Elektromanyetik dalgaların yansıma özellikleri değişmektedir. Tablo 1'de çeşitli malzemelerin 1 GHz'lik elektromanyetik dalga karşı dielektrik sabitinin sayısal büyüklükleri yer almaktadır. Yöntem kolay uygulanabilir ve çok hızlı olması bakımından avantajlara sahiptir. Ayrıca cm düzeyinde yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesinde de etkilidir. Bu açılarından yapı jeofiziği bağlamında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bir yer radarı izi, farklı elektromanyetik özelliklere sahip malzemeler arasındaki arayüzey sınırlarından yansıtılan elektromanyetik enerjinin genlik kayıdır.

Böyle bir kayıt gidiş geliş zamanının bir fonksiyonu olarak elde edilir. gidiş geliş zamanlarını derinliğe dönüştürmek için elektromanyetik dalganın yayılma hızını kestirmek gereklidir. Malzeme içinden geçen dalganın yayılım hızı [7] tarafından Denklem 1'de verilmiştir.

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Burada c, boşlukta yayılma hızı (3×10^8 m/s); V_m , malzeme içerisindeki yayılma hızı ve ϵ_r , rölatif geçirgenliktir.

Tablo 1. Farklı malzemelerin 1GHz'lik elektromanyetik dalga etkisindeki dielektrik sabitleri.

Malzeme	Dielektrik sabiti
Hava	1
Kuru Duvar	3-5
Nemli Duvar	5-26
Kuru Beton	5-8
Nemli Beton	8-16
Asfalt	3-5
Granit	5-7
Bazalt	8
PVC	3
Su	81
Buz	4-8

Eğer rölatif geçirgenlik bilinmiyorsa derinliği bilinen bir yansıtıcıdan hareketle hız Denklem 2'den hesaplanabilir:

$$V_m = \frac{2D}{t} \quad (2)$$

Burada D, yansıtıcı sınırın ortalama derinliği ve t ise EM dalganın gidiş geliş seyahat zamanıdır.

Temelde dalgacık dönüşümüyle bir sinyal farklı ölçeklerde farklı frekans içeriklerine ayrılarak analiz edilmektedir. Düşük frekanslar (büyük dalga boyları) yüksek ölçeklerde analiz edilirken, yüksek frekanslar (küçük dalga boyları) düşük ölçekler kullanılarak analiz edilir. Böylece sinyalin yerel ve bölgesel özelliklerinin tümü belirlenerek yorumlanabilir. Dalgacık dönüşümünde "dalgacıklar" olarak tanımlanan temel fonksiyonlar, tek bir fonksiyon olarak ana dalgacığın (mother wavelet) ölçekleme (scaling) ve öteleme (translation) teriminden türetilir [8].

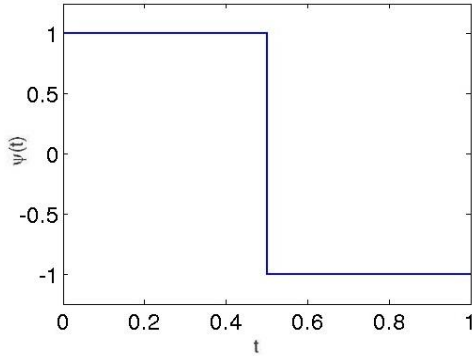
Kaynak [9]'da, ADD veya çok çözünürlüklü analiz olarak bilinen etkin bir algoritma geliştirilmiştir. Bu dönüşümle verinin dalgacık ortamında farklı ölçeklerdeki frekans içerikleri belirlenebilir. Her bir dalgacık ($\psi_{a,b}$), ana dalgacığın (ψ) ölçekleme (a) ve ötelemelerine (b) göre Denklem 3'teki gibi tanımlanır.

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (3)$$

$\psi_{a,b}$ dalgacık seti orthogonal temelde bir yuvarlatma operatörü gibi davranır. Dalgacık dönüşümü, Denklem 3'deki dalgacıkları tanımlamak için kullanılır: Buna göre bir $f(x)$ fonksiyonunun dalgacık dönüşümü Denklem 4'deki gibi verilir [9].

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (4)$$

Bu bağıntı dalgacık setleri yardımıyla $f(x)$ fonksiyonunun dalgacık ayrışımı olarak bilinir. Böylece bir ana dalgacık seçimiyle birlikte $\psi_{a,b}$ olarak verilen tüm dalgacık katsayılarına göre $f(x)$ fonksiyonunun dalgacık ayrışımı yapılmış olur. Dalgacık dönüşümünün en önemli özelliği değişken çözünürlükte olmasıdır. Bu nedenle fonksiyonu analiz eden ana dalgacığın seçimi önemli olmaktadır. Dalgacık ailesi olarak tanımlanan grup içerisinde çok sayıda ana dalgacık bulunmaktadır. Bunlar Coiflet dalgacıkları, Symlet dalgacıkları, Morlet dalgacığı, Meksika şapkası dalgacığı, Meyer dalgacığı ve Haar dalgacığıdır. Şekil 1'de görülen Haar dalgacığı dalgacık ailesi içerisinde bilinen en eski ve basit ortonormal (dik) dalgacık türüdür. Basamak fonksiyonuna benzer. Simetrik özelliktedir. Analiz ettiği sinyali ortogonal (dik) bileşenlerine ayırır. Daubechies dalgacık grubunun birinci tür dalgacığına (db1) benzer. Haar dalgacığının genişliği ve genliği 1 birim olarak alınmaktadır. Fonksiyon analizinde (ayrışım işleminde) haar dalgacığının farklı ölçek ve konumlarına göre çözüm yapılmaktadır.

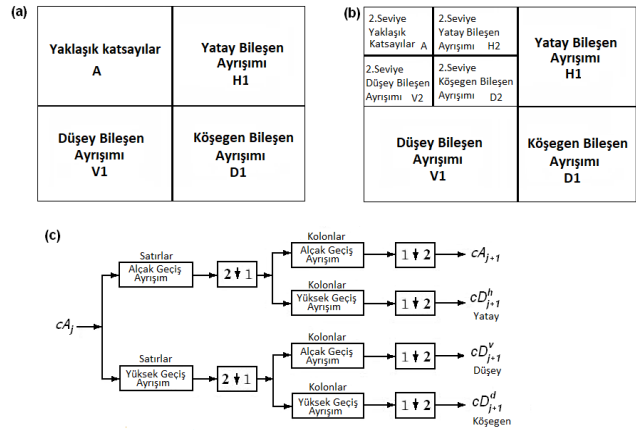


Şekil 1. Basamak fonksiyonu biçiminde Haar dalgacığı.

Dalgacık dönüşümüyle aynı zamanda $f(x)$ fonksiyonun dalgacık ortamındaki karşılığı $w(a,b)$ olmaktadır. Bu bağıntıda a ve b ayrık değerler olarak tanımlanırsa, bu dönüşüm ayrık dalgacık dönüşümü olarak, aksi durumda sürekli dalgacık dönüşümü olarak adlandırılır. Burada a parametresinin büyük değerler alması durumunda veri sıkıştırılır veya küçük frekanslara ayrılır.

Küçük değerler alması durumunda veri yüksek frekanslara ayrıştırılır. b öteleme parametresi ise dalgacığın farklı konumlara ötelenmesini sağlar.

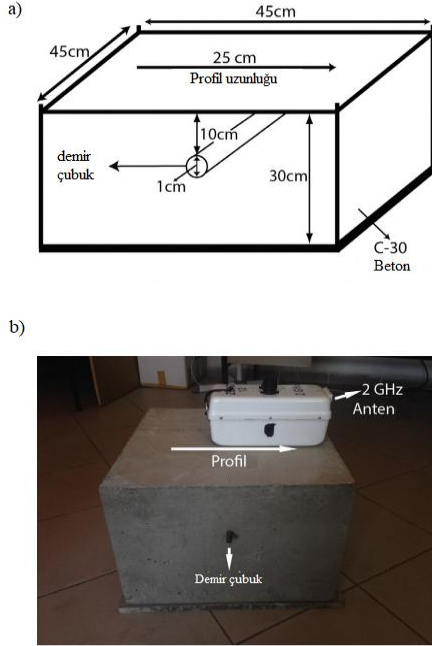
İki boyutlu ADD, iki boyutlu verinin art arda yatay (sıra) ve dikey (sütun) hatları boyunca bir boyutlu uygulanarak gerçekleştirilir. Bununla birlikte bir boyutlu dalgacık dönüşümü belli bir seviyede gerçekleştirilir. 1. seviye dalgacık dönüşümünde giriş verisi 4 bileşene bölünebilir. Bunlar; yaklaşık katsayılar (A), yatay bileşen katsayıları (H), dikey bileşen katsayıları (V) ve köşegen bileşen katsayıları (D) şeklindedir. Bu durumda giriş verisi her bir bileşenin veri sayısı, giriş verisinin yarısı kadar olmaktadır. H ve D katsayıları giriş verisi içerisinde yer alan detay bilgileri içerir. 2. seviye dalgacık dönüşümü uygulandığında birinci seviyenin yaklaşık parçası (A) Şekil 2b'de görüldüğü gibi yeniden 4 bileşene ayrılır. Bu durumda 2. seviye H ve D bileşenleri elde edilmiş olur. Bu seviyede bileşenlerin veri sayısı orijinal verinin 1/4'i oranında azalmış olacaktır. Bu işlem istenilen yüksek seviyelere kadar sürdürülebilir. Şekil 2c'de J+1 seviyesine kadar şematik olarak gösterilmiştir. Buna göre iki boyutlu ADD dönüşümü j+1 seviyesine kadar yürütülebilir. j. seviyede elde edilen yaklaşık katsayıların dalgacık ayrışmaları bir matris olarak yaklaşık katsayıların satırlarına alçak ve yüksek geçiş ayrışmaları ayrı ayrı uygulanır. Satırların alçak geçiş süzgeç verilerinin kolonlarına ayrı ayrı alçak ve yüksek geçiş süzgeçleme yapılır. Aynı şekilde yüksek geçiş uygulanan satırlardan elde edilen kolonlarda ayrı ayrı alçak ve yüksek geçiş ayrışmaları yapılarak verinin içinde yer alan H ve D bileşenleri görüntülenir.



Şekil 2. İki boyutlu DWT işlem aşamalarının şematik gösterimi. a) Giriş verisinin ayrık dalgacık dönüşümünün 1. Seviye ayrışımında verinin H1, V1 ve D1 seviyelerinde ayrıştırılması ve yaklaşık katsayılar. b) Yaklaşık katsayıların ayrık dalgacık dönüşümüyle 2. Seviye bileşen ayrışmalarının konumları. c) Ayrık dalgacık dönüşümünün J. seviyeden J+1 seviyesine kadar olan işlem aşamaları [6].

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan yer radarı cihazı Radsys firmasına ait Zond-e cihazıdır. Bu cihazla model beton blok ve yapı altı hasır donatının konumlarının belirlenmesi amacıyla ölçüler alınmıştır. Ölçü alınırken aynı firmaya ait 2 GHz merkez frekansa sahip ve korumalı anten kullanılmıştır. Ölçü alınırken ve verilerin işlenmesinde Prism 2.59 programı kullanılmıştır. Şekil 3'te görülen model beton [10] tarafından hazırlanmıştır.



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Yer radarı laboratuvar uygulamalarında kullanılan C30 standardında beton blok model. a) Blok boyutları ve demir çubuğun konumu ve parametreleri. b) Beton üzerinde yer radarı uygulamasında kullanılan anten ve ölçü profili [10].

Beton bloğun boyutları 45x45x30 cm'dir. 10 mm çapındaki demir çubuk betonun yüzeyinden 10 cm derinlikte yer almaktadır. Demir çubuğun çapıyla ilgili özel bir seçim olmamakla birlikte inşaat mühendisliği uygulamalarında standart olarak 10 mm çapı dikkate alınmaktadır. Demir çubuğun derinliği, doğrudan gelen dalgalar ve saçılmalarından kaçınmak amacıyla ve istenen yansımaları alacak şekilde belirlenmiştir. Ölçüm profili demir çubuğa dik olarak alınmıştır. Beton su çimento oranı 0,48 olarak alınmıştır [4]. Beton blok C-30 standartlarına göre, Tablo 2'de verilen çeşitli karışımlardan elde edilmiştir. Oda sıcaklığında 18-22°C arasında tutulmuştur [10]. Blok üzerinde yer radarı verileri toplanırken verici ve alıcı üzerindeki antenler arasındaki uzaklık 7 cm olarak

alınmıştır. Profil uzunluğu demir çubuktan kaynaklanan EM yansımalarının gözlenebilmesi için 25 cm olarak seçilmiştir. Ölçü profilinde 26 adet yer radarı izi elde edilmiştir. Tek bir yer radarı izi 512 adet örnek veriden oluşmaktadır. Ölçümler sırasında çözünürlüğü arttırmak için her bir iz 512 kez üst üste yığılarak toplanmıştır. Ölçü profilinden alınan radargram kesitinde çok sık yansımaları gidermek için bant geçişli süzgeç kullanılmıştır.

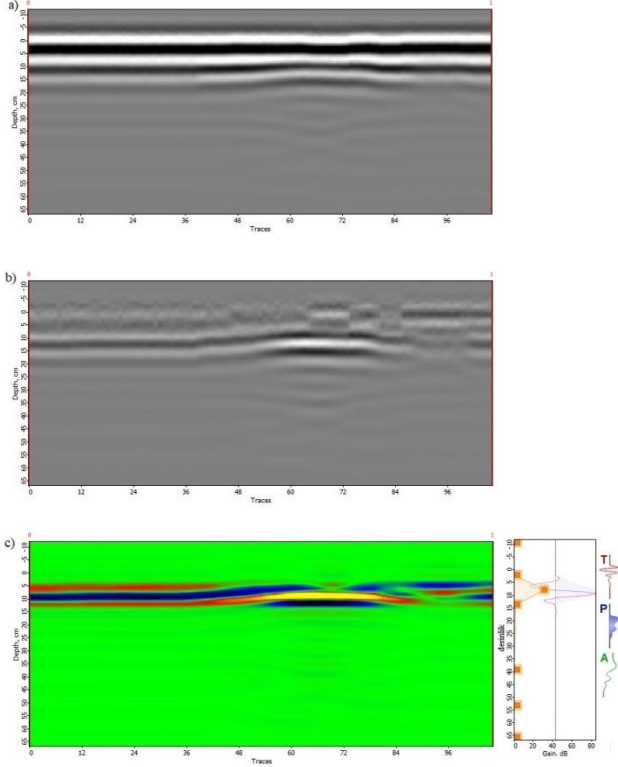
Tablo 2. Kompresör çıkış sıcaklığı için ampirik bağımlıların tahmin sonuçları.

Malzeme	% İçerik
Chips I (5-12 mm)	20,2151
Chips II (12-12 mm)	23,4409
Kum	10,7527
Kaya tozu	23,0108
Su	7,3118
Portland çimentosu	15,0538
Admixture	0,1957

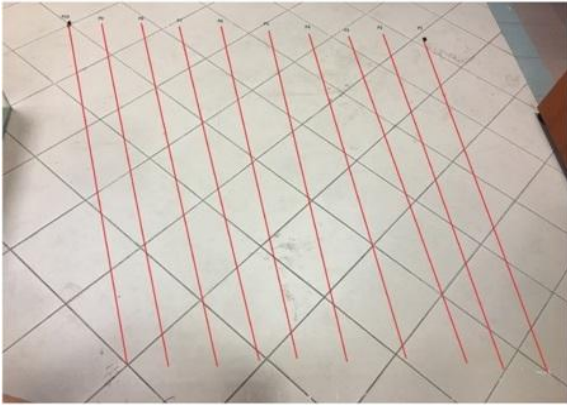
Şekil 4'de model beton blok üzerinde tek profilden alınan radar kesiti ve işlem aşamaları görülmektedir. Şekil 4a'da ham veri olarak elde edilen radar kesitinde demir çubuğun derindeki konumunu yansıtan hiperbol zayıf da olsa gözlenmektedir. Bununla birlikte demir çubuğun üzerindeki ortamın güçlü yansımalarından 'background' etkisi ortaya çıkmaktadır. Prism2 yazılımı kullanılarak söz konusu etki kesit üzerinden kaldırıldıktan sonra hiperbol'ün görünürlüğü daha fazla yükseltilmiştir. Bununla birlikte demir çubuğun üzerinde ve altındaki küçük frekanslı yansımalar gözlemlendiğinden bunların alçak geçişli süzgeçleme işlemiyle veriden atılması sağlanmıştır. Bu amaçla pencere boyu 10 olan bir süzgeç operatörü tüm kesit boyunca uygulanarak kesit süzgeçlenmiştir (Şekil 4c). Daha sonra alçak geçişli süzgeçlenen veriye aynı zamanda faydalı sinyali yığacak şekilde ve veri içerisinde olası istenmeyen bileşenleri baskılamak amacıyla hiperbolün olduğu bölgeye yaklaşık 40 dB lik kazanç uygulanmıştır (Şekil 4c). Bu uygulama sonucunda demir çubuğun anomalisini yansıtacak şekilde hiperbol eğrisi belirgin hale getirilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte görüntülemeyi ve dolayısıyla yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla hiperbolün zirvesinin net bir şekilde ortaya çıkarılması, demir çubuğun derindeki konumunun belirlenmesi açısından yararlı olacaktır. Bu amaçla çalışmanın konusu olarak Şekil 4c'deki işlenmiş verinin tüm izlere ait veri seti çıkarılarak iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümüne tabii tutulmuştur.

Ölçüler uygulamalı Kocaeli Üniversitesi Jeofizik mühendisliği bölümünün uygulamalı jeofizik laboratuvarı içinde hasır beton üzerinde 2x2m 'lik alanda birbirlerine paralel profiller şeklinde alınmıştır. Profil aralıkları 10

cm'dir. Böylece yapı jeofiziği bağlamında hasır beton içindeki donatıların yerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Radar kesiti içerisinde yer alan her bir iz için örnek veri sayısı 512 olarak belirlenmiştir. Kayıt süresi ise 5 ns olarak seçilmiştir.



Şekil 4. Model beton blok üzerinde alınan radargram kesiti ve işlenmesi. a) Ham veri. b) Background etkisi giderilmiş veri. c) Alçak geçişli süzgeçlenen ve kazanç verilen kesit.



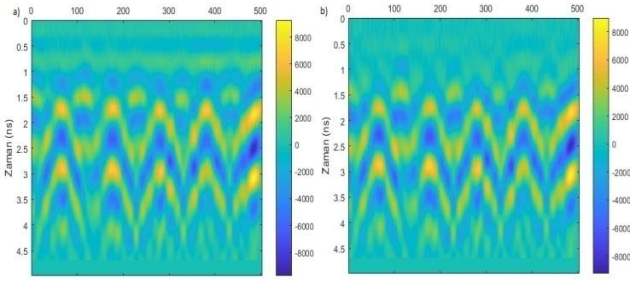
Şekil 5. Bir yapı jeofiziği uygulaması olarak yer radarı yönteminin KOÜ uygulamalı jeofizik laboratuvarının zemininde ölçü alımı için değerlendirilecek olan ölçü profillerinin doğrultuları.

Bilindiği gibi yapı içerisinde demir donatılar önemli yapı elemanlarıdır. Bu yapı elemanlarının görüntülenmesi derinliklerinin ve dağılımlarının ortaya çıkarılması özellikle yapı denetim aşamasında önemli olmaktadır. Son

yıllarda bu türden yapı elemanlarının görüntülenmesi yapı jeofiziği bağlamında yer radarı yöntemiyle etkin bir şekilde yapılabilmektedir. Böylece donatıların istenen şartlara uygun bir şekilde yapılıp yapılmadığı radar kesitleri içerisinde gözlenebilir. Şekil 5'de görüldüğü gibi yöntemin etkinliği seramik kaplı bir zemin üzerinde çeşitli profiller seçilerek, her bir profilin radar kesitlerinde bu türden donatıların konum ve derinliklerinin ne ölçüde başarıyla görüntülenebileceği araştırılmıştır. Şekil 6'a da görülen radar kesitinde sığ derinliklerde sıva ve yalıtım malzemesinden kaynaklanan tabakalı bir görüntü elde edilmiştir. Bu tür görüntüler diğer tüm profillerde gözlenmekte aynı zamanda donatıların yerlerine yönelik olarak hiperbollerin genliğine olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda bu etkiyi tüm radar kesiti üzerinden kaldırmak için Prism2 programı kullanılarak çok sığ ortamın derinlik etkisi giderilmiştir (Background removal). Tüm radar kesitleri üzerinde yapılan veri işlem tekniğiyle birlikte hiperbollerin daha belirgin olması amaçlanmıştır. Bu şekilde elde edilen tüm profillerin radar kesitlerinde (Şekil 7b) görece olarak bu amaca ulaşıldığı söylenebilir. Özellikle çok sayıda hiperbollerin elde edilmiş olması donatının geometrik yapısının hasır biçiminde ve sıkça örüldüğü anlaşılmaktadır. Bununla birlikte örüntünün sığ ve birbirine yakın olarak yapılmış olması radar kesitlerinin yorumunda zorluklar ortaya çıkartmıştır. Yöntemin dayandığı fiziksel parametreler; bağıl dielektrik geçirgenlik, elektriksel iletkenlik ve bağıl manyetik geçirgenlik olduğundan yapı içerisinde bu fiziksel parametrelerin dağılımına bağlı olarak nispeten karmaşık radar kesitleri ile karşılaşmıştır. Bu nedenle donatıların geometrik yapısının daha ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarılması ve yorumun kolaylaştırılabilmesi için iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümleri uygulanmıştır. Literatürde pek rastlanmayan bu türden veri işleme tekniğinin uygulanabilirliği tüm profiller üzerinde test edilmiştir.

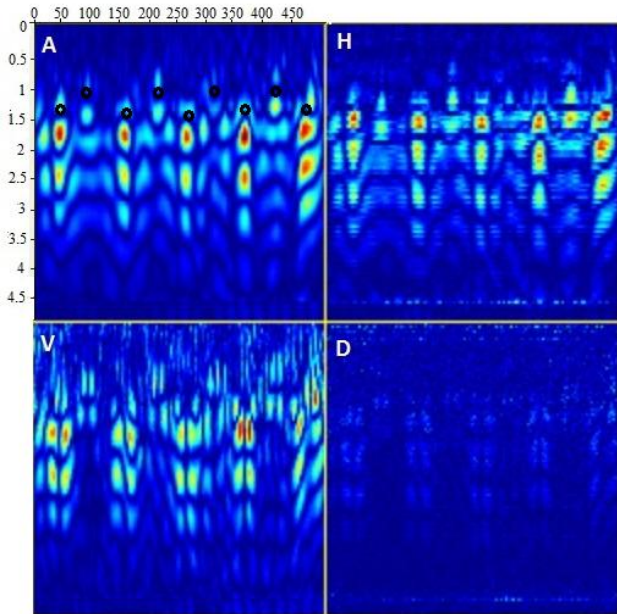
İki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümünün amacı iki boyutlu veri içerisinde veriyi oluşturan yatay, düşey, köşegen bileşenlerine ayrılması ve bu bileşenlerden bulunan ve 'yaklaşık katsayılar' olarak tanımlanan veri setinin ortaya çıkarılmasıdır. Böylece orijinal veri içerisinde var olan ancak gözlenemeyen tüm karakteristik bileşenlerin sayısal olarak elde edilmesi sağlanmaktadır. 'Background' etkisi giderilmiş tüm radar kesitlerine ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Bu işlem için ana dalgacık olarak 'Haar dalgacığı' (Şekil 1) kullanılmıştır. Burada tek bir profil üzerinde elde edilen analizlerin sonuçlarına yer verilecektir. Şekil 6'da dördüncü profilin ham ve işlenmiş radar kesiti görülmektedir. Şekil 7'de ise dördüncü profilin ADD ile elde edilen bileşenleri çizilmiştir. İki boyutlu ADD işlemi Matlab yazılımının 'wavemenu toolbox' ortamında yapılmıştır. Yer radarı yapı

jeofiziği anlamında çok sığ derinlikteki donatı üzerinde yapıldığından radar kesitlerinin çok yüksek frekanslı bileşenlere sahip olması doğaldır.



Şekil 6. 4 nolu profilin işlenmemiş radar kesiti. b) 4 nolu profilin “background” etkisi giderilmiş radar kesiti.

Bu özellik tüm ayrıştırılmış dalgacık bileşenleri (H,V ve D) geçerli olmakla birlikte yaklaşık dalgacık katsayıları (A) yorumlanabilir özellikte detay bilgiler sunmaktadır (Şekil 7). Bu özellik beton blok model üzerinde yapılan çalışmayla Şekil 7’de görüldüğü gibi kaynak konumu A kesitinin maksimum bölgesi üzerinde yer almaktadır. Buradan hareketle tüm radar kesitlerinin zor gözlenebilen hiperbol zirveleri A dalgacık kesitlerinde yığılarak maksimum bölgeler olarak ortaya çıkarılmıştır. Kolayca izlenebilen ve maksimum bölgeler olarak ortaya çıkan kesimlerde demir donatıların yerleri kestirilerek küçük daireler biçiminde kesitlere işlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Şekil 6b’deki işlenmiş radar kesitine iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla elde edilen bileşenlerin (A, H, V ve D) görünümü.

Demir donatıların konumlarına dikkat edildiğinde çift sıra hasır biçiminde örüldüğü görülmektedir. Bununla birlikte

A kesitleri içerisinde derinlere doğru maksimum bölgeler olmasına karşılık bunlar anomali kaynakları olarak yorumlanmamıştır. Bunun sebebi elektromanyetik dalga vektörünün doğrultusuyla ilişkili olarak polarizasyon etkisinin ortaya çıkmasıdır. Özellikle orijinal radar kesitlerinde derine doğru elektromanyetik dalgaların saçılmalar olmakta ve dalga difüzyonunda soğurulmalar gözlenmektedir. Bu türden kayıt bilgileri kaçınılmaz olarak yansımış olmaktadır. Gözlemsel yorumlamada bu özelliğe dikkat edilmedilir. Dalga saçılması, elektromanyetik dalga yayınının doğrultusundaki değişim olarak tarif edilebilir. Bu durumda üzerinde çalışılan malzemenin heterojenliğine bağlı olarak elektromanyetik dalgada istenmeyen yansıma, kırılma ve difraksiyon gibi olaylar gerçekleşebilir. Tüm bu bilgilerden hareketle dalgacık dönüşümüyle elde edilen yeni veri setlerinin yorumunda orijinal ve işlenmiş radar kesitlerinin dikkatlice gözlenmesi önemlidir. Ayrık dalgacık dönüşümüyle elde edilen bileşenlerin (H, V ve D) yorumu yüksek frekanslı yığılmalar nedeniyle zor ve karmaşık olmaktadır.

4. Sonuçlar

Yapı jeofiziği uygulamaları yapılarda tahribata yol açmaksızın yapı içerisinde görünmeyen unsurların fiziksel ve geometrik özelliklerinin ortaya çıkarılmasını sağlar. Bu uygulamalar içerisinde önemli bir yeri olan yer radarı yöntemi elektromanyetik dalgaların yansıma ve saçılmalarına bağlı olarak yapısal problemlerin belirlenmesinde hızlı ve etkin bir çözüm sunar. Bununla birlikte yapıların heterojen özelliğine bağlı olarak ve elektromanyetik dalgaların nüfuz derinliğiyle ilişkili olarak bazı durumlarda radar kesitlerinin yorumu zorlaşabilir. Her ne kadar çeşitli veri işlem teknikleri ile bu sorunun üstesinden gelinmeye çalışılsa da faydalı sinyalin genliğinde istenmeyen türden değişimler ortaya çıkabilir. Yer radarı kesitlerinin en önemli özelliği aranan yapı konumunu işaret eden hiperbollerin dağılımlarıdır. Heterojenliğe bağlı olarak kaynakla ilişkisi olmayan hiperboller de gözlenebilir. Çalışmada ele alınan iki boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü birçok mühendislik disiplininde farklı amaçlarla uygulama alanı bulmuştur. Ayrık dalgacık dönüşümlerinin karakteristik özelliği orijinal veri içerisinde gizlenen farklı dalga boylarındaki bileşenleri ortaya çıkarabilmesidir. Bu bileşenlerin değişim karakteristiklerinin yapı içerisinde uzanan demir donatıların yerlerinin bulunmasında etkili olduğu test edilmiştir. Bununla birlikte dalgacık bileşen kesitlerinin dikkatli bir şekilde gözlenerek doğru yorumlanması önemlidir. Bu işlemin dalgacık dönüşümlerinin özellikleri konusunda tecrübeli bir yorumcu tarafından yürütülmesi gerekli olabilir. Uygulayıcıların yalnızca demir donatıların

yerlerinin kestiriminde değil aynı zamanda duvar örüntü ile siva ve yalıtım malzemeleri arasındaki ilişkileri ve kolon içerisindeki gizli kırık ve çatlakların ortaya çıkarması beklenir. Yeni bir veri işlem tekniği olarak iki boyutlu ayırık dalgacık dönüşümlerinin bu türden yapısal sorunları ne ölçüde görüntülenebildiği araştırılmalıdır. Bu durumda jeofizik mühendisleri eski ve yeni binaların yapı denetiminde yapıları tahrip etmeksizin yeni çözümler üretebilir.

Teşekkür

Veri toplamada ve Prism2 yazılımının kullanılmasında katkılarından ötürü Dr. Öğretim Üyesi Ertan Pekşen ve Dr. Arş. Gör. İsmail Kaplanvural' a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Hou Z.-Z., Yang W.-C., 1997. Wavelet transform and multi-scale analysis on gravity anomalies of China. Chinese J. Geophys. (in Chinese), **40**, 5–95.
- [2] Li Z.-J., Yang L., Wang Q.-C., 1997. Experiment study of the application of 2-dimensional wavelet transformation in potential data process. Petroleum Geophysical Explorartion, **36**, 70–78.
- [3] Yang W., Shi Z., Hou Z., 2001. Discrete wavelet transform for multiple decomposition of gravity anomalies, Chinese J. Geophysics, **44**, 534–541.
- [4] Oliveira Lyrio J.C.S., Tenorio L., Li Y., 2004. Efficient automatic denoising of gravity gradiometry data. Geophysics, **69**, 772–782.
- [5] Xu Y., Hao T., Li Z., Duan Q., Zhang L., 2009. Regional gravity anomaly separation using wavelet transform and spectrum analysis. J. Geophys. Eng., **6**, 279–287.
- [6] Oruç B., 2014. Structural interpretation of southern part of western Anatolian using analytic signal of the second order gravity gradients and discrete wavelet transform analysis. Journal of Applied Geophysics, **103**, 82-98.
- [7] Constantine A., Balanis P.A., 1998. Folded loop antenna for mobile hand-held units. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **46**(2), 260-266.
- [8] Daubechies I., 1992. Ten lectures on wavelets. SIAM, **61**.
- [9] Mallat S.G., 1989. A theory for multiresoluion signal decomposition: The wavelet representation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine, **11**(7), 674-693.
- [10] Kaplanvural İ., Pekşen E., Özkap K., 2018. Volumetric water content estimation of C-30 concrete using GPR. Construction and Building Materials, **166**, 141-146.