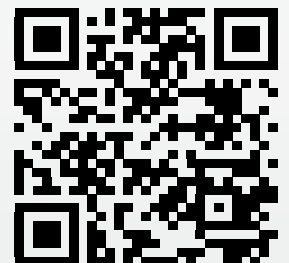


IJIEA



INTERNATIONAL JOURNAL OF
INNOVATIVE ENGINEERING APPLICATIONS



Editor-in-Chief

Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR
Prof. Dr. Hikmet ESEN

Deputy Editor-in-Chief

Asst. Prof. Dr. Abdullah KAPICIOĞLU

Executive Editor-in-Chief

Prof. Dr. Messaoud SAIDANI
Prof. Dr. Niyazi BULUT
Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU
Asst. Prof. Dr. Salwa BOUADILA

Associate Editor

Prof. Dr. Tahir KHAN	Assoc. Prof. Dr. Serdar MERCAN
Prof. Dr. Şükrü TALAŞ	Asst. Prof. Dr. Ferit AK
Prof. Dr. Asaf VAROL	Asst. Prof. Dr. Alper POLAT
Prof. Dr. Mehmet EROĞLU	Asst. Prof. Dr. Yusuf DOĞAN
Prof. Dr. İbrahim CAN	Asst. Prof. Dr. Kouider BENDINE
Assoc. Prof. Dr. Reza BAKHTIARI	Asst. Prof. Dr. Tahsin YÜKSEL
Assoc. Prof. Dr. Jose SENA-CRUZ	Asst. Prof. Dr. Nagihan M. KARAASLAN
Assoc. Prof. Dr. H. Mehmet BAŞKONUŞ	Asst. Prof. Dr. Berivan POLAT

Layout Editor

Res. Asst. Cihangir KALE

International Journal of Innovative Engineering Applications is published June and December.

Adress for the manuscripts and correspondence:
Uluslararası Yenilikçi Mühendislik Uygulamaları Dergisi
Fırat Üniversitesi Kampüsü, Teknoloji Fakültesi, Merkez–Elazığ

Tel: +90 424 237 0000/ Ext.7655
e-mail: ijieatr@gmail.com

ISSN: 2587-1943

Elazığ-2020



IJIEA

volume 4 issue 2

İÇİNDEKİLER

Çeşitli Metal Oksitlere Katkılama Yapılarak Üretilmiş Fotodiyotların Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi: Bir Araştırma

(Derleme / Review)

Sayfalar: 41-54

Fehmi Aslan, Hikmet Esen, Fahrettin Yakuphanoğlu

Enerji Simülasyon Araçları ile Binalarda Faz Değiştiren Malzeme Uygulamaları

(Derleme / Review)

Sayfalar: 55-63

Necla Seval Bayram, Ahmet Vefa Orhon

Geleneksel Harput Evlerinin Enerji Performansının Değerlendirilmesi: Şefik Gül Evi Örneği

(Araştırma / Research)

Sayfalar: 64-72

Sevilay Özdemir, Betül Bektaş Ekici

Mobil Güç Santrallerinde Biyoyakıt Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi

(Araştırma / Research)

Sayfalar: 73-81

Muhammed Mustafa Uyar, Hikmet Esen, Mahmut Uyar

Katı Atık Düzenli Depolamalı Tesislerinde Hata Türü Etkileri Analizi Yöntemiyle İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Analizi-Bingöl Örneği

(Araştırma / Research)

Sayfalar: 82-90

Mehmet Sıddık Baki, Mine Şenel, Bilgin Şenel

Population Development of Twig Borer Moth, *Kermania pistaciella* (Lepidoptera: Oinophilidae) and Its Pupae Parasitoid *Microchelonus fissilis* (Hymenoptera: Braconidae) on Pistachio in Turkey

(Araştırma / Research)

Sayfalar: 91-97

Halil Bolu

IJIEA





ANALYSIS OF THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF PHOTODIODES PRODUCED BY DOPPING VARIOUS METAL OXIDES

Fehmi Aslan^{*1}, Hikmet Esen², Fahrettin Yakuphanoğlu³

¹Department of Rail Systems, Malatya Turgut Özal University, Malatya, Turkey.

²Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Fırat University, Elazığ, Turkey.

³Department of Physics, Faculty of Science, Fırat University, Elazığ, Turkey.

Abstract

Review paper

In this study, the studies made in the last 10 years about the devices produced by using different metal oxide nano powders were discussed extensively. The effects of the doping on the electrical properties of photodiodes and photodetectors were investigated. The I-V characteristics of the devices performed under different light intensities were analyzed. In addition, the comparison of electronic parameters such as ideality factor (n), barrier height (Φ_b), series resistance (R_s) and interface state density (D_{it}) of the thin films produced was investigated. The effect of these parameters on devices is emphasized. In addition, it was investigated to what extent the optoelectronic properties of devices are compatible with the current literature.

Keywords: Photodiode, Photosensor, Electrical properties, Metal oxide semiconductors

ÇEŞİTLİ METAL OKSİTLERE KATKILAMA YAPILARAK ÜRETİLMİŞ FOTODİYOTLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ: BİR ARAŞTIRMA

Özet

Derleme makale

Bu çalışmada farklı metal oksit nano tozlar kullanılarak üretilmiş fotodiyotlar ile ilgili son 10 yılda yapılan çalışmalar kapsamlı olarak ele alındı. Katkılamının, fotodiyot ve fotodetektörlerin elektriksel özelliklerini ne ölçüde etkilediği araştırıldı. Devre elemanlarının farklı ışık yoğunlukları altında gerçekleştirilen I-V karakteristikleri birbirileri ile mukayese edildi. İnce filmlerin idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_b), seri direnç (R_s) ve ara yüz durum yoğunluğu (D_{it}) gibi elektronik parametreleri karşılaştırıldı. Bu parametrelerin fotosensörler üzerindeki etkisi vurgulandı. Ayrıca devre elemanlarının optoelektronik özelliklerinin mevcut literatürle ne derece uyumlu olduğu araştırıldı.

Anahtar kelimeler: Fotodiyot, Fotosensör, Elektriksel özellikler, Metal oksit yarı iletkenler

1 Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi olarak bilinen güneş enerjisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır [1]. Yeşil enerji olarak da bilinen bu enerji temiz, ucuz, kendini yenileyebilen ve fosil yakıt alternatifi enerji olarak kendisini göstermektedir [2]. CdO, ZnO ve TiO₂ gibi yarı iletken metal oksitlerle üretilmiş şeffaf iletken oksit malzemeler (TCO), elektriksel, optik ve fotovoltaik özelliklerinden ötürü yenilenebilir enerji üretimi için önemli bir adaydır [3]. Çeşitli optoelektronik devre elemanlarının çevresel sorunlarla ve enerji çıkmazlarıyla başa çıkabileceği öngörülmektedir [4,5].

Yakın zaman içerisinde birçok organik ve inorganik esaslı bileşik, sahip olduğu kararlılıktan ötürü elektronik devre elemanı yapımında kullanılmaktadır [6]. Organik esaslı bileşiklerin elektriksel özellikleri ile ilgili çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Organik yarı iletken malzemeler sahip oldukları üstün elektriksel ve optik özelliklerden dolayı yeni tip devre elemanı üretiminde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu

bileşiklerin kolay üretilmesi ve düşük maliyetli olması bir avantaj olarak görülmektedir. Ayrıca organik esaslı yarı iletkenler; solar hücre uygulamalarında, LED, OLED, ince filmlerde, schottky diyotlarda ve sensörlerde aktif bileşen olarak kullanılmaktadır. Yarı iletken esaslı bu bileşiklerin en avantajlı yönlerinden birisi de elektriksel ve optik özelliklerinin katkılama yoluyla değiştirilebilmesidir [7,8]. Organik esaslı yarı iletkenler mükemmel elektriksel özellikler göstermektedir. Bu durum yakın zaman içerisinde geleneksel inorganik yarı iletkenlerin yerini alacağını göstermektedir [9]. Son dönemlerde bilim insanları tarafından yapılan çalışmalar, metal-yarı iletken diyotların duyarlılık ve fototepki özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır [10,11]. Organik veya inorganik esaslı birçok katkılama yapılarak, devre elemanlarının fotovoltaik ve fotoduyarlılık özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [12,13].

Yakın zamanda yapılan çalışmalar incelendiğinde organik-inorganik hibrit esaslı devre elemanlarının üretimi ön plana çıkmaktadır [14]. Özellikle hibrit esaslı uygulamalarda fotodiyotlar ön plana çıkmaktadır.

* Corresponding author.

E-mail address: faslan558@gmail.com (F. Aslan) | ORCID Number : 0000-0002-5304-0503

Received 30 June 2020; Received in revised form 16 October 2020; Accepted 27 October 2020

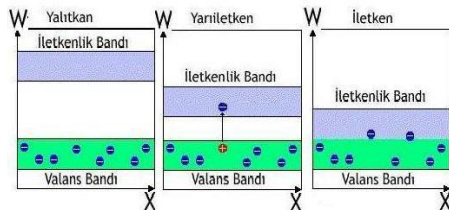
2587-1943 | © 2020 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.760722>

Bu sayede elektronik parametreler, dışarıdan yapıya eklenebilen atomlarla istenilen seviyeye getirmiştir [15].

Işık yayan diyot (LED), organik ışık yayan diyot (OLED), fotodetektör, fotovoltaik sistemler, fototransistör ve fotodiyot optoelektronik cihaz uygulamaları için verilebilecek en iyi örneklerdir. Optoelektronik devre elemanları ışığın bir bölümden başka bir bölüme iletilmesine yardımcı olan, ışık yayan veya ışığa duyarlı olan devre elemanları olarak tanımlanırlar. Optoelektronik cihazların güç elektroniği, kontrol ve iletişim gibi birçok kullanım alanı vardır. Elektronik ve optoelektronik uygulamalar 0.3 mm ile 30 mm arasındaki dalga boyları ile ilgilenir. Bu aralık mor ötesinden başlayıp görünür bölgeden de geçerek kızıl ötesine kadar ulaşır [7].

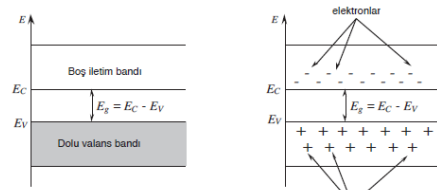
İletkenlikleri metallerle yalıtkanlar arasında olan malzemeler yarı iletken olarak tanımlanırlar. Bu maddeler ısı, ışın ve manyetik alan gibi dış etkiler sonucu iletme geçebilirler. Yarı iletkenlerin kristal yapısında oluşabilecek modifikasyonlar yük taşıyıcı konsantrasyonunun değişmesine yol açmaktadır [16]. Ayrıca bu maddelerin iletkenlikleri dışarıdan yapıya eklenebilecek atomlarla değiştirilebilmektedir [17]. Yarı iletkenlerdeki bant teorisi bantların doluluk oranları ile açıklanmaktadır. Elektronlar en alt enerji seviyeden itibaren üst enerji seviyelerini doldururlar. Katılarda bazı enerji seviyeleri yasaktır. Bu nedenle sadece izinli enerji seviyelerinde bant yapısı oluşturabilirler. Yasak enerji aralığının üzerinde kalan bant iletkenlik bantı altında kalan bant ise valans bantı olarak bilinmektedir [18]. Yarı iletken malzemelerin enerji-bant durumu yalıtkanlarla benzerlik gösterse de aslında birbirinden çok farklıdır. Metallerde iletkenlik bantıyla valans bantı arasındaki mesafe yok denecek kadar azdır. Fakat yalıtkanlarda bu aralık çok daha büyüktür. Yarı iletken maddelerin iletkenlikleri artan sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır. Sıcaklık mutlak sıfıra ulaştığında ise yalıtkan hale geçmektedir. Maddeleri yasak enerji aralıkları bakımından mukayese ettiğimizde 3.8 eV'den daha küçük olanlar yarı iletken, 4 eV'den büyük olanlar da yalıtkan olarak tanımlanmaktadır [19,20]. Şekil 1'de yalıtkan, yarı iletken ve iletkenlerin enerji bant yapıları verilmiştir.



Şekil 1. Yarı iletken, yalıtkan ve iletken malzemelerin bant durumlarının şematize edilmesi [15].

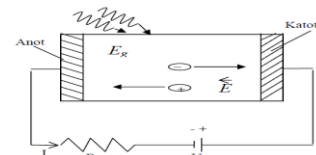
Valans bandında bulunan elektronların çeşitli dış etkenler sonucunda (basınç, sıcaklık, ışın vs.) iletim bandına geçmesiyle cihaz iletme geçer. İletim bandına geçen her bir elektron arkasındaki valans bandında bir boşluk bırakır bu boşluğa hole adı verilmektedir. Bu holler tıpkı pozitif yüklü bir tanecik gibi davranır ve ters yönde elektron hareketine neden olur. Bir yarı iletkende elektron ve boşluk (hole) olmak üzere iki tip yük taşıyıcı bulunmaktadır [21]. Bu elektron-boşluk çiftleri yarı iletken malzemede iletkenliğe katkı sağlarlar. Hollerin

hareket etme özelliği yoktur fakat bu boşluklar komşu elektronlar ile doldurularak arkada yeni boşlukların oluşmasını sağlar [22]. Katkısız yarı iletkenlerde elektriksel veya termal uyarılmayla valans bandında bulunan elektronlar bir boşluk bırakarak iletkenlik bandına atırlar. Bu şekilde yarı iletken iletme geçmiş olur [23]. Katkısız yarı iletkenlerin bilinen en iyi örneği silisyum (Si) ve germanyumdur (Ge). 0 K'de yarı iletken içerisinde herhangi bir elektron hareketi bulunmamaktadır. Fakat sıcaklık 0 K'nin üzerine çıktığında taşıyıcı hareketi ortaya çıkmaya başlar [24]. Bu durum Şekil 2'de şematik olarak görülmektedir. Valans bandında ise sadece boşlukların oluşturduğu durum kendisini gösterecektir. Bu durum elektron hareketine zıt bir hareketin oluşmasına neden olan hollerin tanımlanmasını sağlayacaktır [23]. Yarı iletkenler n-tipi yarı iletken ve p-tipi yarı iletken olarak isimlendirilirler. Eğer iletme elektronlar daha fazla katkı sağlıyorsa n-tipi yarı iletken olarak adlandırılır [25]. İletme boşlukların daha fazla katkı yaptığı yarı iletken p-tipi yarı iletken olarak bilinir. Bu tip yarı iletkenlerde boşlukların sayısı elektronlara nazaran daha fazladır [26].



Şekil 2. Farklı sıcaklıklar için ($T=0$ ve $T>0$) iletim ve valans bantı diyagramları [23].

Ters polarmada çalışan devre elemanları olarak bilinen fotodiyotlar, üzerlerine gelen ışığı emerek ters yönde akım üretirler. Kısaca fotodiyot ışık enerjisini emerek iletme geçen diyot olarak tanımlanırlar. Aydınlatılmış bir fotodiyotun temsili görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir. Bir fotodiyotun jonksiyon bölgesi aydınlatıldığı zaman valans bandında bulunan elektronlar enerji emerek iletim bandına atırlar. Bu şekilde diyottan akım akması sağlanmış olur [27,28]. Bir fotodiyot aydınlatıldığında bazı yükler yasak enerji aralığının üzerine çıkar ve iletkenliğe katkıda bulunur [29]. Fotodiyotlar ışığa çok hassas olduklarından geniş bir kullanım alanına sahiptir. Işık ölçüm cihazlarında, flaşlarda, bilgisayarlarda, fotoğrafçılıkta, ince film transistörlerde ve optokuplatörlerde sıklıkla kullanılmaktadır [30].



Şekil 3. Bir fotodiyotun temsili görüntüsü [24,31].

Fotodiyotlarda iyi bir soğurmanın olması için foton enerjisinin yarı iletkenin bant aralığı enerjisinden büyük olması gerekmektedir. Tipik bir fotodiyotun anot kutbu anottan daha küçük bir potansiyelle beslenirse yarı iletken içerisinde bir elektrik alanı oluşur. Ortaya çıkan elektriksel alan anotta pozitif (+) katotta ise negatif

yüklerin (-) toplanmasına neden olur. Bu durum fotodiyot içerisinde akım akmasına sebep olur [31].

2 Schotkky Fotodiyotlarda Elektriksel Parametrelerinin Belirlenmesi

Fotodiyotların elektriksel parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan en yaygın yöntem klasik yöntemdir. Klasik yöntemde $\ln(I)$ - V eğrisinin lineer bölgesinin eğiminden faydalanarak idealite faktörü (n) ve bariyer yüksekliği (Φ_b) gibi elektronik parametrelerin elde edilmesi mümkündür. Lineer bölge için Denklem 1 yazılacak olursa,

$$\ln(I_0) = \ln(AA^*T^2) - \frac{q\Phi_b}{kT} \quad (1)$$

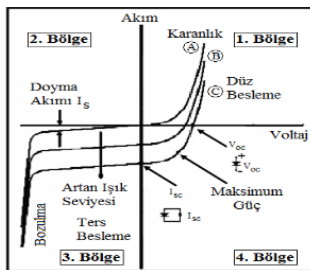
bu denkleme karşılık gelen doğrunun lineer eksenini kestiği noktadan bariyer yüksekliği hesaplanabilir. Bu denklemde I_0 ters doyma akımı, A diyot alanı, A^* Richardson sabiti ve q yükü temsil etmektedir. Ayrıca eğim ise Denklem 2 kullanılarak bulunabilir [32].

$$m = q/nkT \quad (2)$$

Bu denklemde n idealite faktörünü T mutlak sıcaklığı göstermektedir.

3 Schotkky Fotodiyotlarda Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri

I-V karakteristikleri fotodiyotların jonksiyon yüzeyindeki akım taşıma mekanizmasıyla belirlenir. Tipik bir fotodiyot için düşük karanlık akımı ve yüksek bozulma voltajı olmak üzere iki önemli parametre vardır. Fotodiyotlarda düşük karanlık akımı yüksek duyarlılığı göstermektedir. Şekil 4’de bir fotodiyotun aydınlık ve karanlık durumdaki I-V karakteristikleri verilmiştir. Verilen grafikte A eğrisi karanlık şartları, C ve B eğrisi ise aydınlık durumdaki I-V karakteristiklerini yansıtmaktadır.



Şekil 4. Tipik bir fotodiyot için karanlık ve aydınlık şartlar altında verilen I-V karakteristikleri [17].

Bir fotodiyot karakteristik olarak 4 bölgede incelenmektedir. Grafikte görülen birinci bölge fotodiyot uygulamalarına uygun değildir. Çünkü bu bölgede diyot normal bir diyot gibi davranmakta ve doğru polarmada çalışmaktadır. 2. bölgede fotodiyot uygulamaları için hiçbir cevap bulunmamaktadır. 3. bölgede ise küçük bir I_s akımı kendini göstermektedir. Ayrıca bu bölge ışığı en iyi şekilde algılayan ters bozulma bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Son bölge olan dördüncü bölge ise diyotun fotovoltaik bölgesidir [17,33].

Bir fotodiyotun doğru akım analizi ile idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_b), seri direnç (R_s) ve ters doyma akımı (I_0) gibi elektronik parametreleri belirlemek mümkündür. Ters doyma akımı ve bariyer yüksekliği voltajın sıfır olduğu noktada doğru polarmadaki akım fit edilerek hesaplanabilir. İdealite faktörü ise yine doğru beslemede I-V eğrilerinin eğimini ile bulunabilir. Bir fotodiyot çeşidi olan schotkky fotodiyotlarda akım çok yüksek olmadığı zaman Termiyonik Emission teori yardımıyla Denklem 3’den elde edilebilir [18,34].

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{nkT}\right)\right] \quad (3)$$

I_0 aşağıdaki Denklem 4 aracılığı ile hesaplanabilir.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad (4)$$

Yukarıda verilen denklemde k Boltzmann sabiti, V voltajı ve q yükü işaret etmektedir. A diyot alanını (bu değer p-Si için $32 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$), A^* Richardson sabitini ve T ise mutlak sıcaklığı temsil etmektedir. n değeri $\ln(I)$ - V eğrisinin lineer bölgesinin eğimi alınarak aşağıdaki Denklem 5 aracılığıyla bulunabilir. Φ_b ise Denklem 6 ile hesaplanabilir.

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d(\ln I)}\right) \quad (5)$$

$$(\Phi_b) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{A^*AT^2}{I_0}\right) \quad (6)$$

Açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) değerleri bir fotodiyotun fotovoltaik performansını belirlemek için önemlidir. Açık devre voltajı akımın sıfır olduğu durumda Denklem 7 kullanılarak bulunabilir [35].

$$V_{OC} = \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_s}\right) + 1\right] \quad (7)$$

Kısa devre akımı seri direnç ve şönt direncinden önemli derecede etkilenir. Bir fotodiyotta jonksiyon bölgesine gelen foton sayısı ile kısa devre akımı arasında doğru orantı vardır [7].

4 Fotodiyotlarda İnce Film Kaplama Teknikleri

Kalınlığı birkaç mikrometre ile birkaç \AA arasında değişen tabakalar ince film olarak adlandırılır. Ortam değişkenleri ve kaplama metodu ince filmin özelliklerini büyük oranda değiştirebilir. Normalde malzemede bulunmayan bir özellik farklı kaplama teknikleri sayesinde meydana getirilebilir. İnce filmler kontak noktaları, yalıtkan oksit katmanlar ve kontaklar gibi pek çok ara yüzde kullanılabilir. Kaplama tekniklerini şöyle sıralayabiliriz:

4.1 Sol-Jel yöntemi

Bu yöntemde ana madde çözücüde çözüldükten sonra hidroliz ve polimerizasyon tepkimeleriyle koloidal bir “sol” yapısına dönüşür. İnce film üretmek için en basit kaplama tekniklerinden birisi bu yöntemdir. Sol jel

sistemi genel tanımı ile sistemin sol olarak bilinen sıvı fazdan jel olarak bilinen katı faza geçmesidir. Bu yöntemle homojen saf bir kaplama yüzeyi elde edilir. Ayrıca bu yöntemle ince film tabakasının mikro yapısını kontrol etmekte mümkündür. Bu yöntemin avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Bu yöntemde malzeme israfı fazladır ve kullanılan bazı kimyasallar sağlığı olumsuz yönde etkileyebilir.

4.2 Spin coating yöntemi

Döndürme ile kaplama yöntemi olarak da bilinir. Düşük maliyetli çok kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan taban altlığı daha küçük bir boyuta indirgenir. Yüzeyle kaplamada kullanılacak karışımdan bir miktar döküldükten sonra numune cihazın üzerine yerleştirilerek belirli bir hızda döndürülmeye başlar. Merkezil kuvvet sıvıyı taşıyıcı yüzeyin dışına doğru çeker. Bu sayede fazla olan sıvı dışarı atılır. Film kalınlığı azalır dışarı atılan sıvının miktarı da azalır. Bunun sebebi film incelidikçe akışkanlığa karşı gösterilen direncin büyümesidir. Bu yöntemde film kalınlığı kullanılan çözeltinin viskozitesi ayarlanarak değiştirilebilir. Döndürme tekniğinin en büyük dezavantajı, büyük numuneleri döndürerek kaplamanın zor olmasıdır. Malzeme israfı fazladır ve döndürme sırasında çözeltinin yaklaşık % 95 boşa harcanır.

4.3 Dip coating

Daldırmayla kaplama yöntemi olarak bilinir. Daha çok saydam tabakalar üretilirken kullanılır. Bu yöntemde numune hazırlanan çözeltinin içerisine belirli bir hızla daldırılıp geri çekilir. Bunu daha sonra süzülme ve buharlaşma işlemi takip eder. Daldırma tekniği hemen hemen her türlü örneğin kaplanmasına imkân sağlar. Kullanılan çözeltide israf olmaz. Bu yöntem bazı durumlarda maskeleye gerektirebilir. Çünkü tüm yüzeyin sıvı altında kalması bazı devre elemanlarının yapısını bozabilir.

4.4 Spray pyrolysis

Püskürtmeyle kaplama yöntemi olarak da bilinir. Çözeltinin sıcak bir taban üzerine azot veya hava gazı kullanılarak atomize şekilde püskürtülmesi esasına dayanır. Bu yöntem ince film oluşturmak için en kolay ve en ucuz metottur. Kaliteli düzgün filmler elde etmek mümkündür. Farklı geometriye sahip yüzeyler kolaylıkla kaplanabilir. Proses süreci n-tipi ve p-tipi katkılamaya imkân verir. Püskürtme tekniği ile püskürtülen damlacık film kalitesinde büyük önem arz etmektedir. Kontrol edilemeyen büyük damlacıklar homojen olmayan filmlerin oluşmasına yol açar.

4.5 Drop casting yöntemi

Çözeltinin damlatılması ve çözücünün buharlaştırılması esasına dayanır. Çözelti konsantrasyonu film kalınlığını büyük ölçüde etkilemektedir. Çok basit bir yöntem olmasının yanı sıra malzeme israfı da yoktur. Bu yöntemde film kalınlığını kontrol etmek zordur. Ayrıca

geniş yüzeyli malzemelerin kaplanmasında elverişli bir teknik değildir.

5 Farklı metal oksitler ve katkılamalar kullanılarak üretilmiş fotodiyotların elektronik parametrelerinin karşılaştırılması

Fotodiyotların hesaplanan elektronik parametreleri diyot özellikleri hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olur. Bu çalışmada tüm fotodiyotlar için kapsamlı bir literatür araştırması yapıldı. Daha sonra çeşitli metal oksitler ve katkı maddeleri kullanılarak üretilmiş bu devre elemanlarının idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_b), seri direnç (R_s), fotoduyarlılık (RR), fototepki (R) ve ara yüz durum yoğunluğu (D_{ii}) gibi elektriksel parametreleri mukayese edildi.

5.1 Çeşitli Fotodiyotlarla İlgili Yapılan Literatür Araştırması

Farklı katkılama oranlarına sahip p-Si/AZO:Cu₂O metal oksit yarı iletken esaslı fotodiyotun ışık yoğunluğunun artmasıyla ters yöndeki akımının arttığı belirlenmiştir. Devre elemanının fototepki özellikleri farklı konsantrasyonlarda Cu₂O miktarı ile kontrol edilmiş en yüksek fotoiletkenliği % 5 Cu₂O oranına sahip fotodiyot göstermiştir. İnce filmin bant aralığı 3.4 eV olarak bulunmuştur. Bu durum devre elemanının iyi optik ve elektriksel özellikler gösterdiğini doğrulamıştır. p-Si/AZO:Cu₂O devre elemanının fototepki özellikleri, bu cihazın güneş paneli takip sistemlerinde fotosensör olarak kullanılabilceğini göstermiştir [36].

Sol-jel yöntemi kullanılarak üretilmiş Al/(Ga_{1-x}ln_x)₂O₃/p-Si/Al fotodiyotun çeşitli ln konsantrasyonlarında elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bu devre elemanının fotodiyot özelliği gösterdiği, optik ve optoelektronik devre elemanı uygulamaları ve solar takip sistemlerinde fotodedyektör olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır. İlâveten üretimi yapılan fotodiyotun doğrultucu özellik gösterdiği ve çeşitli oranlarda ln eklenerek ideal olmayan özelliklerin ortadan kaldırıldığı rapor edilmiştir. [37].

Hibrit esaslı p-Si/poly(1,4-diaminoanthraquinone) fotodiyotunun 3500 lx ışık yoğunluğunda oluşan akımının karanlık şartlar altında üretilen akımdan 4.50x10⁵ kat daha büyük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bu devre elemanının optoelektronik uygulamalarda fotodiyot olarak kullanılabilceği anlaşılmıştır. [38].

Al/p-Si/phosphotungstic acid (PTA)/Al inorganik fotodiyotun karakterizasyon sonuçları aydınlık şartlardaki fotoakımının karanlık şartlardaki akımdan daha büyük olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak bu devre elemanının fotodiyot özelliği gösterdiği ve solar takip sistemlerinde fotodedyektör olarak çalıştırılabilceği vurgulanmıştır [39].

Grafen:coumarin esaslı organik-inorganik hibrit Au/GO: Coumarin/p-Si/Al fotodiyotunun elektriksel karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Devre elemanındaki GO konsantrasyonları değiştirilerek yüksek duyarlılıkta yeni tip diyotlar üretilmiştir. Coumarin organik yarı iletkeni, düşük levha direnci ve yüksek optik geçirgenliğinden ötürü devre elemanının daha hassas bir yapı kazanmasını sağlamıştır [40].

Hibrit esaslı organik n-Si/borik asit katkılı polyaniline (PANIB) fotodiyotlarının elektriksel ve fotovoltajik parametreleri araştırılmıştır. Ayrıca fotodiyotların I-V karakteristikleri incelenmiştir. Örneklerin 105 mW/cm² aydınlatma altında açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) sırasıyla 0.280 V ve 6.19 nA olarak bulunmuştur. Devre elemanlarının optoelektronik ve optik uygulamalarda optik sensör olarak kullanılabileceği görülmüştür [8].

Thiourea katkısı ile modifiye edilmiş TiO₂ numunelerinin morfolojik ve elektriksel parametrelerine coumarin organini katkılamının etkisi araştırılmıştır. Örneklerin XRD sonuçlarından thiourea:coumarin katkısının numune kristalizasyon sürecini etkilediği görülmüştür. İlaveten coumarin katkılı TiO₂ numunelerinin fotokatalitik performansı I-V (Akım-Voltaj) ve geçici C-V (Fotokapasite-Voltaj) ölçüleriyle incelenmiştir. Thiourea:coumarin katkısının geçici durumda farklılığa yol açtığı saptanmıştır [41].

Sol-jel spin coating metot kullanılarak çeşitli Cu konsantrasyonlarında üretimi yapılmış Cu_xTi_{1-x}O₂ ince film numunelerin optik özellikleri incelenmiştir. Oda koşullarında farklı aydınlatma şiddetlerinde bulunan elektronik parametreler, tüm Al/n-Si/Cu_xTi_{1-x}O₂/Al fotodiyotlarının fototepki ve doğrultucu özelliklerinin optoelektronik çalışmalar için istenilen seviyede olduğunu doğrulamıştır [42].

Al/p-Si/GO:TiO₂/Au fotodiyotlarının fototepki özellikleri fotoiletkenlik ve fotoakım mekanizmasıyla araştırılmıştır. Örneklerin ortalama Φ_b ve n değerleri sırasıyla 0.601±0.001 eV ve 17.9±3.9 olarak bulunmuştur. n değerinin 1'den büyük olması ince filmdeki organik ara yüzeyin düşük taşıyıcı yük mobilitesine dayandırılmıştır. İlaveten en yüksek RR değerini % 3 grafen oksit (GO) katkılanmış numunenin gösterdiği tespit edilmiştir. Bulunan ölçüm sonuçları diyetotların optik ve optoelektronik uygulamaları için fotosensör olarak kullanılabileceğini doğrulamıştır [43].

Yeni tip çinko oksit (ZnO) katkılı ışık duyarlı amorf:karbon fotodiyot "electrochemical deposition" teknik ile hazırlanmıştır. Devre elemanlarının I-V karakteristikleri farklı aydınlatmalarda I-V ve C-V metot ile analiz edilmiştir. Analiz boyunca aydınlatma şiddeti ile fotoakımın doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Örneklerin değişik frekanslardaki C-V karakteristiklerinden frekans ve voltajın kapasite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Φ_b ve n değerleri sırasıyla 0.528±0.0069 eV ve 5.24±0.39 olarak bulunmuştur. Sentezlenen Al/ZnO-a:C/p-Si numunelerin çok iyi duyarlılık özelliği gösterdiği ve optik devre elemanı uygulamaları için uygun özelliklere sahip olduğu belirlendi [44].

Au/Coumarin doping Bi₂O₃/p-Si/Al fotodiyotunun değişik aydınlatma yoğunlukları altında fototepki özellikleri araştırılmıştır. Devre elemanının ışığa karşı çok iyi duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir. İlaveten devre elemanındaki coumarin konsantrasyonunun % 10 seviyesine kadar artması ile fotokapasitenin düştüğü görülmüştür. Elde edilen elektriksel ve optik karakterizasyon verileri Au/Coumarin katkılı Bi₂O₃/p-Si/Al diyetotunun optik devre elemanı ve fotodiyot olarak çalıştırılabileceğini göstermiştir [45].

Coumarin katkılı CdSe/p-Si diyetotları optoelektronik cihaz uygulamaları için üretilmiştir. Kadmiyum (Cd), selenyum (Se) ve coumarin yapılarının elementer analizi EDX ile gerçekleştirilmiştir. Elementer analiz sonuçları kimyasal kompoziteyi doğrulamıştır. Alınan FE-SEM görüntüleri, coumarin doping:CdSe numunesinin partikül çapının coumarin konsantrasyonuna bağlı olduğu anlaşılmıştır. Üretimi yapılan tüm devre elemanının çok iyi doğrultucu özellik gösterdiği ve fotoakımın lineer bir şekilde değiştiği görülmüştür. Devre elemanları arasında en düşük idealite faktörü ve yüksek akım performansını % 0.03 coumarin konsantrasyonuna sahip diyetot göstermiştir. Elde edilen bulgular devre elemanının optik sensör olarak çalıştırılabileceğini göstermiştir [1].

Sol-jel spin coating teknik kullanılarak üretimi yapılan Al/In:ZnO/p-Si fotodiyotlarının farklı In konsantrasyonlarında ışığı algılama özellikleri incelenmiştir. Örneklerin enerji bant aralıkları katkısız ve katkılı (% 0.1, % 0.5 ve % 1.0 In katkılı) çinko oksit (ZnO) ince film örnekler için sırasıyla 3.293 eV, 3.283 eV, 3.272 eV ve 3.263 eV olarak bulunmuştur. Diyetotların I-V karakteristiklerinden In konsantrasyonunun artmasıyla n değerlerinin arttığı, doğrultucu özelliğinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca katkılama konsantrasyonunun artmasıyla Φ_b ve R_s değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bunun yanında diyetotların gerçekleştirilen C-V karakterizasyon sonuçları farklı In konsantrasyonları için frekans ve voltajın kapasite değerlerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Diyetotların endüstride ve optik devre elemanı uygulamalarında fotodedektör ve fotodiyot olarak çalıştırılabileceği tespit edilmiştir [11].

Damla döküm tekniği kullanılarak üretimi yapılan Al/p-Si//GO katkılı MB/Au Schottky fotodiyotlarının çeşitli aydınlatma yoğunluklarında I-V karakteristikleri araştırılmıştır. Işık yoğunluğunun artmasına bağlı olarak devre elemanındaki ters yön akımının arttığı görülmüştür. İlaveten üretimi yapılan diyetotların fotoduyarlılığı incelenmiştir. Devre elemanları içerisinde en yüksek fotoduyarlılığa 100 mW/cm² aydınlatma altında 8.67×10³ değeri ile % 0.03 GO:MB katkılı diyetotun ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında örneklerin C-V ve G-V karakteristikleri 10 kHz ile 1 MHz analiz edilmiştir. Frekans arttıkça iletkenliğin arttığı ve kapasitenin azaldığı tespit edilmiştir. Devre elemanının kapasitesinde görülen azalma ara yüz durumlarının varlığına bağlanmıştır. Elde edilen karakterizasyon sonuçları devre elemanlarının optik uygulamalarda fotokapasitör ve fotodiyot olarak kullanılabileceğini göstermiştir [13].

Damla döküm tekniği ile üretilmiş Au/Coumarin:GO katkılı Bi₂O₃/p-Si örneklerinin farklı aydınlatma yoğunluklarında fotodiyot özellikleri incelenmiştir. Diyetotların aydınlık koşullarda karanlık şartlardan daha yüksek fotoakım oluşması, diyetotların fotodiyot özelliği gösterdiğini doğrulamıştır. İlaveten diyetotların aydınlatma altındaki geçici fotoakım ölçümleri, fotokapasite ve fotoiletkenlik özellikleri ile incelenmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda devre elemanlarının fotoiletkenlik ve fotokapasitans özellik gösterdiği rapor edilmiştir. Ayrıca devre elemanlarının optik sensör uygulamalarında fotodiyot ya da fotokapasitör olarak çalıştırılabileceği anlaşılmıştır [14].

Damla döküm teknik ile üretimi yapılan Al/p-Si/Coumarin katkılı fullerite/Al diyetotlarının fototepki

özelliklerine coumarin katkılanmanın etkisi incelenmiştir. Işık yoğunluğunun artmasıyla devre elemanlarının ters yöndeki akımının arttığı görülmüştür. Bunun yanında devre elemanlarının fotoakımının karanlık akımdan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan m değerleri tüm devre elemanlarının lineer bir fotoiletkenlik özelliği gösterdiğini doğrulamıştır. İlaveten gerçekleştirilen kapasite ölçümleri frekans artışıyla kapasitenin düştüğünü göstermiştir. Ayrıca numunelerin D_{it} ve Φ_b değerlerinin coumarin katkısıyla değiştirilebileceği görülmüştür. Karakterizasyon sonuçları üretimi yapılan diyotların optoelektronik devre elemanı uygulamalarında optik sensör olarak kullanılabilceğini göstermiştir [4].

Yakuphanoglu tarafından yapılan bir çalışmada mikrobalsan nem sensörü üretimi için sol-jel metot kullanılarak sentezlenen TiO_2 yarı iletken metal oksidin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri incelenmiştir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülen iletkenlik 10^4 meV aktivasyon enerjisi ile oda sıcaklığında 2.55×10^{-6} S/m olarak hesaplanmıştır. TiO_2 'nin elektriksel taşınım mekanizmasının sıcaklıkla aktive edilen mekanizma ile kontrol edildiği görülmüştür. Ayrıca TiO_2 'nin optik bant aralığı 3.17 eV olarak bulunmuştur. Sonuç olarak bu sensör % 65 oranında nemli havayla temas ettiği zaman iyi bir yinleme özelliği göstermiştir [46].

Farag ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada sol-jel spin coating yöntem kullanılarak p-Si üzerine oluşturulan CdO ince filminin I-V karakterizasyonuna Çinko (Zn) katkılanmanın etkisi araştırılmıştır. Farklı Zn ağırlık oranlarında üretilmiş Zn katkılı CdO/p-Si diyotlarının doğrultucu özellik gösterdiği belirtilmiştir. Diyotların hesaplanan doğrultma oranı değerlerinin katkılanan ZnO miktarına ve uygulanan voltaja bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Daha düşük voltaj değerleri için ileri yöndeki akım Termiyonik Emisyon teori ile kontrol edilirken daha yüksek voltaj değerlerinde boşluk yük sınırlayıcı iletim mekanizması daha baskın rol oynamıştır. Düzeltilmiş Kapasite-Voltaj (C_{ADJ} -V) ve düzeltilmiş İletkenlik-Voltaj (G_{ADJ} -V) karakteristikleri 10 kHz ile 1MHz arasında değişen frekanslarda analiz edilmiştir. (C_{ADJ} -V) ve (G_{ADJ} -V) eğrilerinin Zn katkılanmasından ve frekanstan önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür. Frekansın bir fonksiyonu olarak verilen ara yüz durum yoğunluğu değerlerinin artan frekans ve Zn katkılanmasıyla azaldığı anlaşılmıştır. CdO/p-Si heterojonksiyon diyotunun elektriksel özelliklerinin Zn katkılanmasıyla değiştirilebileceği sonucuna varılmıştır [2].

Ocaya ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada döküm teknikle hazırlanan coumarin katkılı poly(3-hexylthiophene)/p-Si fotodiyotlarının I-V karakteristikleri karanlıkta ve çeşitli ışık yoğunlukları altında I-V ve C-V metot kullanılarak araştırılmıştır. Al/P3HT:Coumarin /p-Si/Al diyotlarında fotoakımın ışık yoğunluğuna bağlı olduğu ve devre elemanının fototepki özelliklerinin coumarin konsantrasyonuna bağlı olarak değiştirilebileceği anlaşılmıştır. Kapasitenin frekans ve voltaj bağımlılığı ara yüz durumlarının sürekli dağılımı ile açıklanmıştır. Tüm örnekler arasında en iyi fototepki özelliğini % 10 coumarin ağırlık oranına sahip devre elemanının gösterdiği tespit edilmiştir. Al/P3HT:Coumarin/p-Si/Al diyotlarından elde edilen

parametreler, numunelerin fotosensör olarak kullanılabilceğini göstermiştir [47].

Dakheel yapmış olduğu çalışmada p-Si üzerine büyütülen Ge katkılı CdO:Ge ince filmlerin elektriksel ölçüm sonuçlarını incelemiştir. Değişik konsantrasyonlarda Ge katkılanmanın cihazların fototepki ve fotoduyarlılık özelliklerini nasıl etkilediği incelendi. % 0.16 konsantrasyonlu örneğin yaklaşık % 60 fotoduyarlılık gösterdiği tespit edildi. Ayrıca en iyi fototepkiyi 319.4 mA/W ile % 0.25 Ge katkı oranlı cihazın gösterdiği saptandı. Gerçekleştirilen karakterizasyon sonuçları CdO:Ge/p-Si numunelerin yüksek verimli foto dedektörler için uygun olduğunu gösterdi [48].

Karataş ve diğerleri tarafından rapor edilen bir çalışmada Ag/n-CdO/p-Si devre elemanının elektriksel özellikleri C-V ve G-V ölçümleri ile analiz edildi. Frekans arttıkça kapasitenin azalması ara yüz durumlarının varlığını doğruladı. Kapasite-frekans grafiklerinde gözlemlenen pikler ara yüz durumlarının varlığını ile açıklandı. Düşük frekanslar için R_s -V eğrilerinde görünen pikler daha yüksek frekanslarda ortadan kaybolmuştur. Kapasite-Voltaj/Frekans ve İletkenlik-Voltaj/Frekans analizlerinden ara yüz durum yoğunluğu ve seri direnç değerleri sırasıyla 1.44×10^{16} - 7.59×10^{12} $cm^{-2}eV^{-1}$ ve 3.41-49-8.77 Ω aralığında hesaplanmıştır. Ayrıca Ag/n-CdO/p-Si örneğinin elektriksel parametrelerinin ara yüz durum yoğunluğu ve seri dirençten önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür [49].

Orainy ve Hendi yapmış oldukları çalışmada p-Si üzerine sol-jel teknikle büyütülen CdO ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özelliklerini incelemiştir. CdO ince filmleri için optik bant aralığının Al katkısıyla farklı aralıklara değişebileceği görülmüştür. Devre elemanlarının jonksiyon parametrelerine ışık yoğunluğunun etkisi incelenmiştir. Devre elemanlarının idealite faktörleri katkısız, % 0.1 ve % 1 katkılı diyot için sırasıyla 2.30, 2.95 ve 2.80 olarak hesaplanmıştır. Geçici durum sonuçları ile ışık altındaki akımın karanlık akımdan daha yüksek olduğunu anlaşılmıştır. Frekans arttıkça kapasitedeki azalma ara yüz durumlarıyla açıklanmıştır. Gerçekleştirilen karakterizasyon sonuçları CdO/p-Si numunesinin fototepki özelliklerinin Al katkılanması ile kontrol edilebileceğini göstermiştir [3].

Yakuphanoglu'nun yapmış olduğu çalışmada tek katmanlı olarak üretilmiş organik-inorganik p-Si/C₆₀:MEH-PPV sandviç yapıli diyotun I-V ölçümleri yapılmıştır. Bariyer yüksekliği, idealite faktörü, seri direnç ve şönt direnci gibi elektronik parametreleri sırasıyla 0.75 eV, 1.36, 6.26×10^5 Ω , 1.40×10^{10} Ω olarak bulunmuştur. Devre elemanının ara yüz durum yoğunluğu ve zaman sabitesi değerleri sırasıyla 2.55×10^{11} $eV^{-1} cm^{-2}$ ve 1.81×10^{-6} s olarak bulunmuştur. Cihazın fotoiletkenlik-fototepki değerleri sırasıyla 8.16×10^{-6} S/m ve 1.63×10^{-2} A/W olarak hesaplanmıştır. İlaveten devre elemanının maksimum açık devre voltajı (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) sırasıyla 130 mV ve 24.5 nA olarak bulunmuştur. Ayrıca diyotun fotoiletkenlik mekanizması tuzak merkezlerinin sürekli dağılımının varlığı ile ifade edilmiştir. Yapılan elektriksel ölçüm sonuçları numunenin fotodiyot olarak çalıştırılabilceğini göstermiştir [50].

Şahin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı coumarin konsantrasyonlarında SILAR metotla cam malzeme üzerine büyütülen CdO ince filmlerinin yapısal

ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan analizler CdO XRD pik yoğunluğu, bant aralığı ve yüzey morfolojisinin coumarin içeriğine bağlı olduğunu göstermiştir. Bant aralığının değişmesi numunelerde oluşan yeni kristal yapılar ile açıklanmıştır. Filmlerin XRD analizleri, kristalleşme seviyesinin iyi olduğunu ve poli-kristal bir yapıya sahip olduğunu doğrulamıştır [51].

Ortega ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada CdO ince filmleri p-Si tabaka üzerine çöktürme metodu ile oluşturuldu. Devre elemanlarının karanlık ve aydınlık şartlardaki I-V karakteristikleri tüm numunelerin ışığa duyarlı olduğunu doğruladı. Ayrıca CdO/p-Si diyotunun spektral duyarlılık eğrileri filmlerin görünür ve kızıl ötesi bölgeye yakın olan bölgelerde yüksek hassasiyete sahip olduğunu göstermiştir [52].

İsmailia ve arkadaşları tarafından rapor edilen çalışmada CdO/Si heterojonksiyon dedektörleri üretilmiştir. Nano yapıları CdO ince filmleri, tek kristalli silikon tabaka üzerine CBD teknik ile büyütülmüştür. Filmler farklı sıcaklık aralıklarında üretilmiştir. Sitokiyometrik sıcaklık açısından en iyi film 90 dakika 400 °C sıcaklıkta üretilmiştir. CdO filmlerinin yapısal özelliklerini araştırmak için gerçekleştirilen AFM ve XRD sonuçları katkılanan tüm numunelerin kübik yapıda olduğunu göstermiştir. İlaveten numunelerin yüzey morfoloji, tüm filmlerin homojene yakın bir yapıda olduğunu doğrulamıştır. İnce filmlerin bant aralıkları artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak 2.4 ile 2.5 eV arasında değerler almıştır. Tüm fotodiyotlar iyi doğrultucu özellik göstermiştir. İlaveten örneklerin idealite faktörleri sıcaklığa bağlı olarak 1.56-3.69 arasında değişen değerler almıştır. Numunelerin Kapasite-Voltaj karakteristikleri bilindik diyot özelliklerini doğrulamıştır. Ayrıca CdO/p-Si dedektörün maksimum fototepkisi 0.56 A/W olarak bulunmuştur. Fotodedektörlerin yükselme zamanının sıcaklığa önemli ölçüde bağlı olduğu anlaşılmış ve en kısa yükselme zamanı 2 V gerilim altında 45 ns olarak hesaplanmıştır [53].

Yakuphanoglu ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada sol-jel tekniği ile üretilmiş nano yapıları ZnO/p-Si diyotunun elektriksel ve fotovoltajik özellikleri incelenmiştir. Devre elemanının idealite faktörü ve bariyer yüksekliği değerleri sırasıyla 3.18 ve 0.78 eV olarak bulunmuştur. Diyottaki oksit ara tabaka ve ara yüz durumlarının varlığından dolayı devre elemanı ideal olmayan bir özellik göstermiştir. ZnO nano yapısının cihazdaki ZnO/p-Si ara yüzünün kalitesini arttırdığı saptanmıştır. Ayrıca diyot 100 mW/cm² ışık yoğunluğu altında maksimum açık devre voltajı ($V_{oc}=0.26$ V) ve kısa devre akımı ($I_{sc}=1.87 \times 10^{-8}$ A) ile fotovoltajik özellik göstermiştir. Elektriksel karakterizasyon sonuçları ZnO/p-Si diyotunun fotodiyot olarak kullanılabilirliğini göstermiştir [54].

Hartomy ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada nano kompozit poly(3,4-ethylene-dioxythiophene):poly(styrene-sulfonate)/ graphene-oxide fotodiyotlarının (PEDOT:PSS-GO) üretimi yapılmıştır. PEDOT:PSS-GO/p-Si jonksiyonunun çeşitli GO içeriklerinde I-V karakteristikleri, karanlıkta ve farklı ışık yoğunluğu altında çalışılmıştır. Devre elemanlarının fotoakımının kompozitteki GO konsantrasyonunun artmasıyla arttığı görülmüştür. Ayrıca numunelerin idealite faktörleri % 0.03, % 0.05 ve % 0.1 GO içerikleri

için sırasıyla 5.43, 5.62 ve 2.49 olarak hesaplanmıştır. Devre elemanları arasında en yüksek fototepki performansını % 0.1 GO katkılı cihaz göstermiştir. PEDOT:PSS-GO kompozitinin fotosensör uygulamalarında yüksek potansiyele sahip olduğu rapor edilmiştir [55].

Yakuphanoglu tarafından rapor edilen bir çalışmada [6.6]-phenyl C61-bütirik asit methyl esterli yapısı ile organik-inorganik fotovoltajik cihazın üretimi yapılmıştır. Diyotun idealite faktörü 2.12 olarak hesaplanmıştır. Cihazın sahip olduğu idealite faktörü, ideal durumda saptığını göstermiştir. İlaveten numune maksimum açık devre voltajı $V_{oc}=0.12$ V ve kısa devre akımı $I_{sc}=0.10$ μ A ile 6 mW/cm² ışık yoğunluğu altında fotovoltajik özellik göstermiştir. Devre elemanının parazit dirençleri olarak bilinen seri direnç (R_s) ve şönt direnci (R_{sh}) sırasıyla 5.24×10^4 Ω ve 1.95×10^7 Ω olarak hesaplanmıştır. Kapasite-Voltaj eğrileri, katkılamadan ve p-Si/PCBM devre elemanının ara yüz kusurlarından ötürü ideal olmayan bir durum göstermiştir. İlaveten cihazın bariyer yüksekliği (ϕ_b) değeri 0.79 eV olarak bulunmuştur. Elektriksel karakterizasyon sonuçları cihazın fotodiyot olarak kullanılabilirliğini göstermiştir [56].

Tombak ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada coumarin30/p-Si organik-inorganik devre elemanı üretilmiştir. Coumarin30 ince filmi p-Si yarı iletkeni üzerine büyütülmüştür. Elde edilen sonuçlar cihazın mükemmel doğrultucu özelliğe sahip olduğunu doğrulamıştır. Cihazın elektriksel parametreleri 300-380 K sıcaklık aralığında I-V ölçümleri ile incelenmiştir. Artan sıcaklığa bağlı olarak bariyer yüksekliği (ϕ_b) artarken idealite faktörü (n) ve seri direncin (R_s) azaldığı tespit edilmiştir. Devre elemanının 59 μ A kısa devre akımı ve 337 mV açık devre voltajına sahip olduğu görülmüştür. İlaveten Al/Coumarin 30/p-Si diyotunun Kapasite-Voltaj (C-V) ölçümleri çeşitli frekanslarda analiz edilmiştir. C-V değerlerini kullanarak elde edilen bariyer yüksekliği değerleri I-V dataları ile elde edilen bariyer yüksekliği ile mukayese edilmiştir. Karakterizasyon sonuçları devre elemanının optik sensör uygulamaları için istenilen seviyede olduğunu göstermiştir [9].

Yakuphanoglu ve Farooq tarafından rapor edilen bir çalışmada p-Si/1.4-DAAQ inorganik-organik diyotun elektriksel ve fotoduyarlılık özellikleri analiz edilmiştir. Devre elemanının 2.03 idealite faktörü ve 0.85 eV bariyer yüksekliği değeri ile ideal olmayan bir özelliğe sahip olduğu vurgulanmıştır. Cihazın açık devre voltajı ve kısa devre akımı sırasıyla 0.365 V ve 127 μ A olarak bulunmuştur. Devre elemanının ara yüz durum yoğunluğu farklı ışık yoğunluklarında çalışılmıştır. C_{photo}/C_{dark} oranının artan frekans ile azaldığı görülmüştür. Al/p-Si/1.4-DAAQ devre elemanının frekansla kontrol edilebilen fotosensör olarak kullanılabilirliği anlaşılmıştır [57].

Farag ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada p-Si/Al ara yüzündeki tris(8-hydroxyquinolino) alüminyum organik yarı iletken tabakanın bu ara yüzdeki elektriksel taşınımaya nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Al/Alq₃/p-Si devre elemanının iyi doğrultucu özellik gösterdiği görülmüştür. Ayrıca bariyer yüksekliği değerleri Norde metot ve I-V metotla bulunup karşılaştırılmıştır. Norde metotla elde edilen bariyer

yüksekliği değerleri seri direnç etkisinden dolayı I-V metotla elde edilen bariyer yüksekliği değerlerinden daha düşük çıktığı görülmüştür. Al/p-Si diyotunun ara yüzdeki potansiyel bariyer yüksekliği değişimi, Alq₃ organik yarı iletkeni kullanılarak kontrol edilmiştir. Ayrıca bu ara tabakanın efektif bariyer yüksekliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Kapasite ve iletkenliğin frekans bağımlılığı seri direnç ve ara yüz durum yoğunluğu değerleri ile yorumlanmıştır. Diyotun seri direncinin artan frekans ile 9 kΩ'dan 1 kΩ'a düştüğü görülmüştür. R_s-V eğrilerinin dağılımı düşük frekanslarda pikler vermiş ve piklerin artan frekans değerleri ile ortadan kaybolduğu anlaşılmıştır [58].

Aydın ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Al/poly[2-metoksi-5-(2-ethenol)-1.4-phenylenevinylene] (MEH-PPV)/p-Si schottky diyotunun elektriksel karakterizasyonu Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj metodu ile araştırılmıştır. Al/MEH-PPV/p-Si Schottky diyotunun hesaplanan idealite faktörü ($n=1.88$) organik yarı iletken üzerindeki yalıtkan tabakadan ötürü ideal olmayan özellik göstermiştir. I-V karakteristiklerinden elde edilen bariyer yüksekliğinin ($\phi_b=0.80$ eV) C-V karakteristiklerinden elde edilen bariyer yüksekliğinden ($\phi_b=1.19$) daha küçük olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun ara yüzdeki doğal oksit tabakalardan ve yarı iletken-schottky kontak arasındaki MEH-PPV organik tabakasından kaynaklandığı rapor edilmiştir. Ara yüz durum yoğunluğu eğrilerinin 0.68 eV ile 0.32 eV arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca ara yüz durum yoğunluğu değerlerinin, p-Si valans bandının tepesine doğru orta aralıktaki gerilim seviyelerinde exponansiyel bir artış göstermiştir [59].

Yakuphanoglu tarafından yapılan bir çalışmada sol-jel dip coating teknik ile boron katkılı CdO ince filmler hazırlanmıştır. Boron katkısının yapıdaki tane boyutunu değiştirdiği görülmüştür. Ayrıca CdO filmlerinin optik bant aralığının boron katkısıyla önemli ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Optik absorbans sonuçları, bant aralığının boron katkısıyla 2.27 ile 2.45 eV arasında değiştirilebileceğini göstermiştir. Hesaplanan en iyi açık devre voltajı $V_{oc}=0.37$ V ve kısa devre akımı $I_{sc}=0.81$ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Fakat bu değerlerin literatürde rapor edilen değerlerden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [60].

Kahraman ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada ZnO'nun yapısal özelliklerine solüsyon büyütmede coumarin katkılanmanın etkisi araştırılmıştır. Numunenin kristal yapısında ve yüzey morfolojisinde önemli değişiklikler saptanmıştır. Coumarin içeriğinin artmasıyla yapıdaki partiküllerin ortalama yarıçapının küçüldüğü ve rod-rice tipi nano yapı ile üniform bir şekil olduğu görülmüştür. Numunelerin XRD örneklerinden elde edilen piklerin hegzagonal kristal yapıdaki ZnO'nun temel piklerini doğruladığı sonucuna varılmıştır. Numune kristalizasyonunun % 5 coumarin içeriğine kadar yavaş yavaş arttığı bu noktadan sonra kristalizasyonun olumsuz etkilediği anlaşılmıştır. Ayrıca elektriksel öz direnç değerlerinin coumarin içeriğinin artması arttığı gözlemlenmiştir [61].

Yakuphanoglu ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada nano yapıları n-CdO/p-Si heterojonksiyon diyodunun yapısal ve optik özellikleri araştırılmıştır. CdO filmlerin kübik polikristal yapıda olduğu görülmüştür. Örneklerin yüzey morfolojisi filmlerin neredeyse

homojene yakın olduğunu ve birbirine sıkıca paketlenmiş nano yapıları kümelerden oluştuğunu göstermiştir. CdO ince filminin optik bant aralığı optik absorpsiyon metot kullanılarak 2.45 eV olarak hesaplanmıştır. Cd/p-Si diyotunun elektriksel özellikleri Akım-Voltaj ve İletkenlik-Frekans metodu ile analiz edilmiştir. İki yarı iletken arasındaki ara yüz durumları ve seri direncin etkisinden dolayı idealite faktörü ($n=5.41$) 1'den daha büyük bulunmuştur. Devre elemanının maksimum açık devre voltajı ve kısa devre akımı sırasıyla $V_{oc}=0.12$ V ve $I_{sc}=0.53 \times 10^{-6}$ A olarak bulunmuştur. Diyotun ara yüz durum yoğunluğu değerleri çeşitli ön gerilim voltajları altında 7.82×10^{13} ile 3.02×10^{12} $\text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ arasında değişiklik göstermiştir [62].

Dhole ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada ZnO nano partikülleri ile doldurulmuş nano kompozit esaslı PANI, kimyasal sentez metodu ile hazırlanmıştır. Hazırlanan nano kompozitin yapısal özelliklerinin araştırılmasında XRD teknik kullanılmıştır. XRD sonuçları ZnO nano partikülünün wurtzite yapıda olduğunu doğrulamıştır. PANI-ZnO nano kompozitinin UV-vis spektrası polimer matrikse ZnO nano partiküllü katkılıktan sonra optik özelliklerinde ne derece değişiklik olduğunu anlamak için yapılmıştır [63].

Ravikumar ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda (% 0, 1, 3 ve 5) Eu katkılanan kadmiyum oksit (CdO) ince filmler Si tabaka üzerine oluşturulmuştur. Hazırlanan filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca I-V karakteristikleri gibi temel parametreler rapor edilmiştir. Hazırlanan tüm Eu:CdO ince filmlerin kübik yapıda olduğu belirtilmiştir. SEM resimleri numunelerin yüzey görüntülerinin homojen yapıda olduğunu doğrulamıştır. XRD dataları düzlemlerin (200) yöneliminde olduğunu göstermiştir. Enerji bant aralığı değerleri Eu konsantrasyonuna göre 2.42 ile 2.33 eV aralığında değişiklik göstermiştir. % 3 ağırlık oranına sahip CdO ince filmi için öz direnç (ρ), yüksek taşıyıcı konsantrasyon ve taşıyıcı mobilitesi sırasıyla 0.452×10^{-3} Ωcm , 17.82×10^{20} cm^{-3} ve 7.757 cm^2/V olarak bulunmuştur. Ayrıca nano yapıları Al/Eu-nCdO/p-Si/Al heterojonksiyon devre elemanının Akım-Voltaj ölçümleri bilindik diyot özelliğini doğrulamıştır [64].

Naser ve diğerleri tarafından rapor edilen bir çalışmada 500 nm; 450 nm; 400 nm; 350 nm; 300 nm \pm 30 kalınlığındaki CdO ince filmleri chemical spray metot kullanılarak hazırlanmıştır. İnce filmler mercek camı üzerine çöktürülmüştür. Numunenin optik sonuçları bu filmlerde elektronik geçişin doğrudan geçiş tipinde olduğunu göstermiştir. Katkılanan filmlerin optik bant aralıklarının 2-2.08 eV aralığında olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda (300 K, 523 K, 548 K ve 573 K) katkılanan örneklerin optik bant aralığı değerleri ise 2.08-2.85 eV aralığında olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak optik bant aralığını ısı işlemi ve film kalınlığının önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varılmıştır [65].

Gündüz tarafından yapılan bir çalışmada farklı çözücülerden ve malzemelerden oluşan farklı organik yarı iletken Al/p-Si/PCBM-MEH-PPV/Al ve Al/p-Si/PANI/Al fotodiyotlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu organik esaslı yarı iletken diyotların elektriksel ve optik özelliklerini araştırmak için farklı aydınlatmalar altında Akım-Voltaj ve Fotoiletkenlik-Zaman ölçümleri

alınmıştır. Ayrıca elde edilen ölçüm sonuçlarından diyotun elektriksel parametreleri bulunmuş ve mevcut organik yarı iletken fotodiyotların elektronik parametreleri ile mukayese edilmiştir. Diyotlara uygulanan aydınlatma şiddeti arttıkça ters besleme akımının yükseldiği ve diyotların fotovoltajik özellik gösterdiği tespit edilmiştir [7].

Tozlu tarafından yapılan bir çalışmada farklı moleküler yapıdaki perilen ve naftalen organik yarı iletkenlerinin alan etkili transistör (OFET) yapısında farklı yüzey enerjilerine sahip yalıtkan tabakalara bağlı elektriksel parametreleri analiz edilmiştir. Naftalen bis-benzimidazol organik yarı iletkenine foto-OFET uygulaması yapılarak optik sinyalin elektriksel sinyale çevrimi incelenmiştir. Foto-OFET yapının belirlenen aydınlatma altında fotoduyarlılığı tükenim bölgesinde ve yığılma bölgesinde sırasıyla 93.5 ve 1.82 olarak bulunmuştur. Ayrıca foto-OFET'in tükenim ve yığılma bölgesindeki fototepki değerleri ise sırasıyla 14.3 mA/W ve 32.7 mA/W olarak hesaplanmıştır. Ayrıca hidrofobik BCB polimer yalıtkan üzerine kaplanan NBBI ve PBBI organik yarı iletkenlerinden elde edilen transistörün etkili elektron mobilite değerleri sırasıyla 1.04×10^{-3} ve $1.62 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Hidrofilik PVA yalıtkan tabakası üzerine kaplanan NBBI ve PBBI yarı iletkenleri için hesaplanan elektron mobilite değerleri ise sırasıyla 8.14×10^{-4} ve $9.03 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır [66].

Gündüz tarafından yapılan çalışmada organik alan etkili transistör (OFET)'lerin üretilmesinde aktif tabaka olarak pentasen ve onun türevlerinden olan pentasen (TIPS) organik yarı iletkenleri, termal buharlaştırmayla cam altlık üzerine kaplanarak oluşturulan ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri araştırılmıştır. Farklı oksit tipleri kullanılarak hazırlanan organik alan etkili transistörlerin (OFET) elektriksel karakteristikleri karanlıkta ve aydınlık şartlar altında incelenmiştir. n-Si/BaTiO₃/pentasen OFET'i $41.171 \text{ cm}^2/\text{V}_s$ ile en yüksek taşıyıcı mobilitiyi göstermiştir. Ayrıca farklı oksit tipleriyle hazırlanan OFET'lerde oksit tipinin çıkış karakteristiklerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca hazırlanan OFET'lerin aydınlatma şiddeti arttıkça kanal akımının ve fotoduyarlılıklarının arttığı belirtilmiştir [67].

Şimşir tarafından rapor edilen bir çalışmada hazırlanan GaAs yarı iletken esaslı Schottky diyotların 75-350 K sıcaklık aralığında akım-gerilim karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen karakterizasyon sonuçlarından seri direnç, idealite faktörü ve bariyer yüksekliği gibi bazı elektronik diyot parametreleri belirlenmiştir. Hazırlanan Ag/PMI/n-GaAs perylene organigi ile modifiye edilmiş schottky diyotunun belirlenen tüm sıcaklık aralıklarında iyi doğrultucu özellik gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca taşıyıcı yoğunluğunun kullanılan organigin miktarına bağlı olarak değiştirilebileceği sonucuna varılmıştır [68].

Dere tarafından yapılan çalışmada Hummer metotla sentezlenen grafen oksit (GO) ile MB+GO/p-Si Schottky diyot esaslı fotodedektörler hazırlanmıştır. Hazırlanan dedektörlerin elektriksel karakterizasyonu Kapasite-İletkenlik/Gerilim ve Akım/Gerilim ölçümleri ile analiz edilmiştir. Hazırlanan fotodedektörlerin fototepki özelliklerinin grafen oksit katkısıyla değiştirilebileceği görülmüştür. Ayrıca fotodedektörler için en önemli

performans göstergesi olan fotoakımın karanlık akıma oranı % 0.05 GO katkılı devre elemanında en yüksek değeri ($4.9 \times 10^{-2} \text{ A/W}$) göstermiştir. Yapılan karakterizasyonlar ile MB+GO/p-Si fotodedektörlerinin optoelektronik uygulamalar için uygun olduğu sonucuna varılmıştır [18].

Ülküer tarafından rapor edilen bir çalışmada organik esaslı Al/perylene-diimide/ITO Schottky diyotlarının elektriksel karakterizasyonu I-V metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bariyer yüksekliği ve idealite faktörü gibi parametreler I-V metot ve Cheung-Cheung metotla ayrı ayrı hesaplanıp karşılaştırılmıştır [32].

Erkol tarafından yapılan çalışmada inorganik malzemelere alternatif olarak verimli organik malzemenin belirlenebilmesi, FePc, ZnPc, CoPc ve HPC ile yalıtkan tabakaların oluşturularak sağlanmıştır. Metal tabaka olarak ise yüksek saflıkta altın (Au) ve gümüş (Ag) kullanılmıştır. Ayrıca devre elemanı için Si altlık kullanılmıştır. Devre elemanının Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj karakteristikleri farklı sıcaklıklarda incelenmiştir. Bu sıcaklıklar için empedans, iletkenlik ve sığa ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada MIS (Metal-Yarı İletken Schottky Diyotlar) yapıların doğrultucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak ftalosiyanın bileşiklerinin MIS yapılarıdaki yalıtkan tabaka için büyük bir potansiyele sahip olduğu ve bu bileşimin moleküler yapısında yapılacak uygun değişimlerin MIS yapıların ara yüzey özelliklerini iyileştirebileceğini göstermiştir [69].

Demir tarafından yapılan bir çalışmada çok cidarlı karbon nano tüp ve TiO₂ tabaka ilavesinin P3HT:PCBM organik güneş pillerinin performansını ne derece etkilediği araştırılmıştır. Güneş pillerinin absorbans ölçümleri alınarak optik özellikleri incelenmiştir. Aktif tabakaya karbon nano tüp ilavesiyle akım yoğunluğu, verim ve doldurma faktöründe artış sağlanmıştır. İlaveten tabaka üzerine kaplanan titanyum dioksitin (TiO₂) pilin dolum faktörünü arttırdığı tespit edilmiştir. Fakat TiO₂ tabaka verim açısından istenilen etkiyi göstermemiştir. Verimdeki düşüşe TiO₂ tabakasından oluşan çatlakların direnci arttırmasının sebep olabileceği düşünülmüştür [70].

Biçer tarafından rapor edilen bir çalışmada sol-jel metotla hazırlanan TiO₂-SiO₂ nano kompoziti farklı kalınlıktaki camların üzerlerine kaplanmıştır. Bu çalışmada filmlerin camların mukavemetine ne derece etki ettiği ve camın optik özelliklerini ne derece değiştirdiği araştırılmıştır. Örneklerin % 330'a kadar mukavemet artışı gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca TiO₂-SiO₂ içeren inorganik-organik sol-jel kaplamanın spektrofotometre ile yapılan geçirgenlik ve yansıtma değeri istatistikleri kaplamaların cam kadar saydam olmalarının yanında camdan daha geçirgen olduklarını da tespit etmiştir [71].

Çavaş tarafından yapılan çalışmada nano yapı metal oksit yarı iletkenler kullanarak sol-jel spin coating teknikle çeşitli fotodiyotların üretimi yapılmıştır. Hazırlanan CdO ve ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıklarını belirlemek için absorbans, transmittans ve reflektans ölçümleri yapılmıştır. Filmlerin yapısal özellikleri XRD ve AFM teknikle kontrol edilmiş ve polikristal yapıya sahip olduğu doğrulanmıştır. Al/p-Si/CdO/Al ve Al/p-Si/ZnO/Al diyotlarının Akım-Voltaj, Kapasite-İletkenlik/Voltaj ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Diyotların ara yüz özellikleri ve elektriksel parametrelerinin Ni ve Al katkısıyla değişebileceği sonucuna varılmıştır. Diyotların fototepki özelliklerinin metal katkılar kullanılarak iyileştirilebileceği vurgulanmıştır [24].

Özden tarafından rapor edilen çalışmada BPW34 ve BPW41 silikon p-i-n fotodiyot aygıtlar ile bilinen bir ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂ güneş pilinin elektriksel özellikleri farklı sıcaklıklarda akım-gerilim ve admittans spektroskopisi tekniği ile araştırılmıştır. BPW34 ve BPW41 fotodiyotlarının verimlilik değerleri sırasıyla % 5 ve % 12 olup doğrultma oranları ise 10⁶-10⁷ civarında olduğu tespit edilmiştir. Admittans spektroskopisi tekniği ile aktivasyon enerjisi E_a=1.49 eV ve durum yoğunluğu yaklaşık olarak 2×10¹⁷ cm⁻³eV⁻¹ olarak bulunmuştur [72].

Kucur tarafından yapılan çalışmada kızılötesi bölgede çalışan epitaksi yöntemi ile oluşturulan GaSb/GalnAsSb/GaAlAsSb çift hetero yapıli numunenin elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Numunenin C-V karakteristiklerinden yük taşıyıcı yoğunluğu 2.01×10¹⁷ cm⁻³eV⁻¹ olarak bulunmuştur. Farklı sıcaklık aralıklarındaki akım gerilim karakteristikleri 360-160 K aralığında iletim yönünde iki farklı akım mekanizmasının baskın olduğu, 230-160 K aralığında ise yeniden birleşme akımının baskın olduğu görülmüştür [17].

Canlı tarafından rapor edilen çalışmada Alq₃ molekülünün diyot üzerindeki fotovoltaj etkisini anlayabilmek için Al/p-Si/Al ve Al/Alq₃/p-Si/Al diyotlarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Organik ara yüz malzemeli numunelerin güneş simülatörü altında ve karanlıkta 30'dan 100 mW/cm²'ye değişen ışık yoğunluklarında açık devre voltajı, kısa devre akımı, doluluk faktörü ve güneş enerjisi verimi gibi parametreleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında organik ara yüzli numunelerin fotodiyot özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Alq₃'ün kullanıldığı organik ara yüzli örneğin artan aydınlatma şiddetine bağlı olarak artan ters akımının referans diyota kıyasla daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar fotodiyot üretiminde Alq₃ organik molekülünün diyot özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılabilirliğini göstermiştir [16].

Özmen tarafından yapılan çalışmada Y_{1-x}Sr_xCoO₃ ve Y_{1-x}Sr_xMnO₃ malzemeleri sol-jel metot kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerin yapısal ve elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan diyotların fotodiyot özelliği gösterdiği ve optik uygulamalarda fotodiyot olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır [25].

5.2 Fotodiyotların elektronik parametrelerinin karşılaştırılması

Çalışmanın bu kısmında farklı metal oksitler ve katkı maddeleri kullanılarak üretilmiş devre elemanlarının idealite faktörü (*n*), bariyer yüksekliği (Φ_b), seri direnç (*R_s*), fotoduyarlılık (*RR*), fototepki (*R*) ve ara yüz durum yoğunluğu (*D_{it}*) gibi elektriksel parametreleri mukayese edildi. Elde edilen sonuçların birbirileriyle olan tutarlılıkları incelendi. Tablo 1'de farklı katkılama oranlarında üretilmiş çeşitli fotodiyotların elektriksel parametreleri verilmiştir. Tablodan anlaşılacağı üzere

katkılamanın diyot parametrelerini önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Devre elemanları için büyük öneme sahip doğrultma oranı (*R_r*) değerleri, katkılamanın bir fonksiyonu olarak belirgin bir biçimde değişmektedir. Örneğin Al/ZnO-a:C/p-Si/Al fotodiyotunun sahip olduğu *R_r* değeri katkılanan madde konsantrasyonuna bağlı olarak 2.7×10⁹ ile 4.9×10⁹ arasında değişen değerler almaktadır [44]. Ayrıca artan katkılama yoğunluğuna bağlı olarak *R_r* değerlerinin arttığı saptanmıştır. Farklı coumarin katkı oranları için üretilmiş Al/Coumarin: CdO/p-Si devre elemanı için 1.32×10⁴ ile 1.54×10⁴ arasında değişen *R_r* değerleri bulunmuştur [73]. En yüksek *R_r* değerini % 3 katkılama oranına sahip diyot göstermiştir. Yine yapılan başka bir çalışmada Al/P-Si/Coumarin:TiO₂/Al fotodiyotu için en yüksek *R_r* değerini 10⁴ mertebesinde % 3 katkı oranına sahip devre elemanı göstermiştir [74]. Bu noktadan sonra katkılama oranı arttıkça *R_r* değerlerinin düştüğü saptanmıştır. Bu durum ince film tabakasının sahip olduğu kristal yapıyla ilgilidir. Yine doğrultma oranı değerleri Au/coumarin doped Bi₂O₃/p-Si/Al fotodiyotu için 28×10³, Au/coumarin-doped TiO₂/p-Si fotodiyotu için ise 1×10⁵ olarak bulunmuştur [41,45]. Doğrultma oranı değerleri araştırılan tüm fotodiyotlar için *R_r* > 1000 olduğundan iyi doğrultucu özelliğe sahip oldukları söylenebilir [75,76]. Araştırılan diyotlar için idealite faktörü (*n*) ve bariyer yüksekliği (Φ_b) değerlerinin katkılama oranıyla değiştiği görülmektedir. İdealite faktörü ara yüzey durumlarının şekli ve yüzey morfolojisi ile ilgili fikir sahibi olmamızı sağlar [77]. *n* değeri ideal bir diyot için 1 olmalıdır. Fakat yapılan çalışmalarda bu değerlerin 1'den daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum seri direnç ve oksit tabakanın varlığından kaynaklandığı söylenebilir [74]. Φ_b değeri bir metal ile yarı iletkenin kombinasyonuna bağlıdır. Metal oksit yarı iletkenlerin sahip olduğu, bilinen bir Φ_b değeri vardır. Örneğin bu değer ZnO için yaklaşık 0.6 eV civarındadır [78]. Fakat yapılan çalışmalarda bu değerlerin katkılama oranlarına bağlı olarak değişebileceği görülmektedir. Örneğin indiyum (In) katkılı çinko oksit (ZnO) için bu değer 0.6 ile 0.78 eV arasında değişmektedir [11]. Katkılama sayesinde istenilen Φ_b değerine sahip fotodiyotlar üretmek mümkündür.

İdeal bir devre elemanı için seri direnç (*R_s*) her ne kadar ihmal edilse de gerçek bir fotodiyot belirli bir *R_s* değerine sahiptir [79]. *R_s* değeri taşıyıcı tuzakların yanı sıra ara yüz durum yoğunluklarından da kaynaklanmaktadır [58]. Yapılan literatür araştırmasında diyotların sahip olduğu seri dirençler Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan katkılama oranlarına bağlı olarak *R_s* değerlerinin azalabileceği görülmektedir. Bu durum daha hassas fotodiyotların elde edilebileceğini göstermektedir. Örneğin Au/coumarin doped Bi₂O₃/p-Si/Al fotodiyotu için katkılama sayesinde *R_s* değeri 200'den 50 kΩ kadar düşürülmüştür [45]. Farklı bir çalışmada Al/p-Si/GO:TiO₂/Au fotodiyotu için *R_s* değeri 6.4'dan 0.36 kΩ'a kadar azalmıştır [43]. İndiyum (In) katkılı çinko oksit (ZnO) ince filmler için *R_s* değeri 15.7'den 0.63 kΩ'a kadar düşürülmüştür [11].

Işık duyarlılığının bir ölçüsü olarak tanımlanan fotoduyarlılık (*RR*) önemli bir diyot parametresidir. Bu değer başka bir tanımla ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmenin bir ölçüsüdür [33]. Fotodiyotlarla ilgili

yapılan araştırmada bu devre elemanlarının *RR* değerlerinin katkı konsantrasyonu ile büyük ölçüde değişebileceği görülmüştür. Yapılan bir çalışmada Al/ZnO- a:C/p-Si/Al fotodiyotunun *RR* değeri a:C katkı oranıyla 4.57×10^{-6} değerine kadar arttırılmıştır [44]. Yapılan diğer bir çalışmada Au/cou-doped TiO₂/p-Si heterojonksiyon diyotunun *RR* değeri coumarin katkısıyla 3.8×10^4 değerine kadar iyileştirilmiştir [41].

Al/n-Si/CuxTi1-xO₂/Al fotodiyotu için en yüksek *RR* değeri % 0.05 Cu katkılı devre elemanı için 1.20×10^6 olarak bulunmuştur [42]. Aslan ve arkadaşları tarafından yapılan üç farklı çalışmada farklı coumarin konsantrasyonlarındaki üç farklı fotodiyotun *RR* değerleri

hesaplanmıştır. Verilen Al/Coumarin:ZnO/p-Si/Al, Al/Coumarin:TiO₂/p-Si/Al ve Al/Coumarin:CdO/p-Si/Al devre elemanları için en yüksek *RR* değerlerini % 3, % 1 ve % 5 katkılı devre elemanlarının gösterdiği tespit edilmiştir [73,74,78].

Yapılan araştırmada diyotların göstermiş olduğu fototepki (*R*) değerleri mukayese edilmiştir. Farklı metal oksit ve katkılarla üretilmiş fotodiyotlar için 0.01 ile 0.56 A/W arasında değişen değerlerde fototepki değerleri elde edilmiştir [42,53,64]. Fototepki değerlerinin katkılama yoluyla farklı değerlere kayabildiği Tablo 1'den açıkça görülmektedir.

Tablo 1. Farklı çalışmalarda üretilmiş fotodiyotlar için 100 mW/cm² ışık yoğunluğu altında hesaplanan elektriksel parametreler

	Katkılanan Madde	İdealite Faktörü (<i>n</i>)	Bariyer Yüksekliği (Φ_b) (eV)	Seri Direnç (<i>R_s</i>) (kΩ)	Foto Duyarlık (<i>RR</i>)	Foto Tepki (<i>R</i>) (A/W)	Ara yüz Durum Yoğunluğu (<i>D_{ii}</i>) (cm ⁻² eV ⁻¹)	Doğrultma Oranı (<i>R_r</i>)
GO Grafen Oksit [40]	Coumarin	2.7-5.9	0.7-0.9	-	-	-	-	-
Bi ₂ O ₃ Bizmut Oksit [45]	Coumarin	3.2-3.8	0.81-0.85	200-54	-	-	-	28×10 ³
ZnO Çinko Oksit [44]	a:C	3.7-6.3	0.48-0.56	0.10	4.57×10 ⁻⁶	-	-	2.7×10 ⁹ 4.9×10 ⁹
TiO ₂ Titanyum Dioksit [43]	Grafen Oksit	14.5- 28.8	0.55-0.66	0.36-6.4	-	-	-	-
TiO ₂ Titanyum Dioksit [41]	Coumarin	2.1-3.4	0.72-0.82	-	3.8×10 ⁻⁴	-	2.1×10 ¹³ -7.9×10 ¹³	1×10 ⁵
TiO ₂ Titanyum Dioksit [42]	Cu Bakır	2.20-2.37	0.68-0.71	0.078-0.010	1.20×10 ⁻⁶	0.01	-	-
Bi ₂ O ₃ Bizmut Oksit [14]	Coumarin:GO	2.5-4.8	0.68-0.8	-	-	-	-	-
CdO	Zn Çinko	-	0.45-0.7	-	-	-	3×10 ¹³ -7×10 ¹²	-
Kadmiyum Oksit [2]	In İndiyum	14.1-4.21	0.6-0.78	0.63-15.7	-	-	1.31×10 ¹³ -7.99×10 ¹³	-
ZnO Çinko Oksit [11]	Ge	0.41-0.51	3.4-8.3	-	-	-	-	-
CdO	Germanyum	2.30-2.95	0.54-0.59	-	-	-	1×10 ¹² -9×10 ¹²	-
Kadmiyum Oksit [48]	-	1.56-3.69	-	-	-	0.56	-	-
CdO	-	2.49-5.62	0.54-0.58	-	-	-	-	-
Kadmiyum Oksit [3]	-	3.18	0.78	-	-	-	-	-
CdO	-	1.56-3.69	-	-	-	0.56	-	-
Kadmiyum Oksit [53]	-	2.49-5.62	0.54-0.58	-	-	-	-	-
GO Grafen Oksit [55]	-	3.18	0.78	-	-	-	-	-
ZnO Çinko Oksit [54]	-	1.56-3.69	-	-	-	0.56	-	-
AZO Kompozit metal oksit [36]	Cu ₂ O Bakır ₂ Oksit	3.84-4.52	0.72-0.83	-	-	-	-	-
CdO	-	1.56-3.69	-	-	-	0.56	-	-
Kadmiyum Oksit [64]	Eu Eropyum	4.03	0.75	-	-	0.18-0.27	-	-
CdO	-	1.56-3.69	-	-	-	0.56	-	-
Kadmiyum Oksit [62]	-	5.41	0.56	6.41	-	-	7.82×10 ¹³	-
ZnO Çinko Oksit [78]	Coumarin	4.04-6.93	0.466-0.490	-	1.19×10 ⁻⁴	-	1×10 ¹² -1×10 ¹⁴	-
CdO	-	1.56-3.69	-	-	-	-	-	-
Kadmiyum Oksit [73]	Coumarin	4.39-7.83	0.461-0.487	-	1.04×10 ⁻⁴	-	1×10 ¹² -5×10 ¹²	1.32×10 ⁴ 1.54×10 ⁴
TiO ₂ Titanyum Dioksit [74]	Coumarin	3.1-11.4	0.460-0.471	-	1.81×10 ⁻⁴	-	-	4.79×10 ³ 3.94×10 ⁴

Ara yüz durumları (D_{it}) yük taşıyıcıların sayısı ile ilgilidir [13,57,80]. Araştırmada farklı metal oksitlerle üretilmiş diyotların D_{it} değerlerinin katkılama oranından ne ölçüde etkilendiği araştırılmıştır. Ara yüz durumları diyot parametrelerinden kapasiteyi önemli ölçüde etkilemektedir [58]. Bulunan tüm değerler 10^{12} ile 10^{13} arasındadır [2,3,11,41]. Farklı çalışmalarda devre elemanlarının D_{it} değerlerinin frekans ve katkılama oranından önemli ölçüde etkilendiği anlaşıldı. Aslan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmalarda farklı metal oksitlere coumarin katkılanarak üretilmiş fotodiyotların D_{it} değerleri, 10^{12} civarında hesaplanmıştır [73,74,78].

6 Sonuç

Sonuç olarak katkı atomlarının küçük bir yoğunlukta yarı iletkenlere katkılanması iletkenliği önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu durum devre elemanlarında elektron-boşluk çifti yoğunluğunun değişimine bağlanmıştır [81]. Kristalin yapısında bulunmayan atomların dışarıdan yapıya eklenmesiyle bu devre elemanlarının elektriksel özellikleri istenilen seviyelerde değiştirilebilmiştir [31,32]. Üretimi yapılmış çok sayıda fotodiyot, farklı katkılama oranlarında doğal bant yapısını bozarak yeni enerji-bant yapıları oluşturmuştur. Bu durum diyotların elektronik parametrelerini değiştirmiştir [82]. Daha sonraki yapılacak çalışmalarda organik ya da hibrit esaslı katkı maddeleri kullanarak fotodiyotların elektriksel ve optik özellikleri iyileştirilebilir. Ayrıca bazı organik esaslı katkı türleri kullanılarak güneş hücrelerinin fotovoltaik performansları artırılabilir [83].

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Yakuphanoglu F., Darkwa-Mensah K., Al-Ghamdi AA., Gupta RK., and Farooq WA.,2016. Novel organic doped inorganic photosensors. *Microelectronic Engineering journal*, 160, 27–33. Elsevier B.V.
- [2] Farag AAM., Cavas M., and Yakuphanoglu F.,2012. Electrical performance and interface states studies of undoped and Zn-doped CdO / p-Si heterojunction devices. *Materials Chemistry and Physics*, 132(2–3), 550–558. Elsevier B.V.
- [3] Al Orainy RH., and Hendi AA.,2014. Fabrication and electrical characterization of CdO/p-Si photosensors. *Microelectronic Engineering*, 127, 14–20.
- [4] Ocaya RO., Al-Ghamdi A., Mensah-Darkwa K., Gupta RK., Farooq W., and Yakuphanoglu F.,2016. Organic photodetector with coumarin-adjustable photocurrent. *Synthetic Metals*.
- [5] Xu J., Sang H., Wang X., and Wang K.,2015. Facile synthesis and photocatalytic properties of ZnO core/ZnS-CdS solid solution shell nanorods grown vertically on reductive graphene oxide. *Dalton Transactions*, 160, 27–33.
- [6] Çavaş M.,2017. Al / P- Si / ZnO / Al Fotodiyotunun Üretimi ve Elektriksel Karakterizasyonu.,2017. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 29(1), 325-330.
- [7] Gündüz B.,2007. Organik yarıiletken fotodiyotların hazırlanması ve optoelektronik özelliklerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [8] Yakuphanoglu F., Kandaz M., and Senkal BF.,2009. Inorganic-organic photodiodes based on polyaniline doped boric acid and polyaniline doped boric acid:nickel(II) phthalocyanine composite. *Sensors and Actuators, A: Physical*.
- [9] Tombak A., Ocak YS., Asubay S., Kilicoglu T., and Ozkahrman F.,2014. Fabrication and electrical properties of an organic-inorganic device based on Coumarin 30 dye. *Materials Science in Semiconductor Processing*.
- [10] Alkis S., Tekcan B., Nayfeh A., and Okyay AK.,2013. UV/vis range photodetectors based on thin film ALD grown ZnO/Si heterojunction diodes. *Journal of Optics*.
- [11] Yıldırım M., and Kocyigit A.,2018. Characterization of Al/In:ZnO/p-Si photodiodes for various In doped level to ZnO interfacial layers. *Journal of Alloys and Compounds*.
- [12] Wageh S., Farooq WA., Tataroğlu A., Dere A., Al-Sehemi AG., Al-Ghamdi AA., et al.,2017. A photodiode based on PbS nanocrystallites for FYTRONIX solar panel automatic tracking controller. *Physica B: Condensed Matter*.
- [13] Mekki A., Dere A., Mensah-Darkwa K., Al-Ghamdi A., Gupta RK., Harrabi K., et al.,2016. Graphene controlled organic photodetectors. *Synthetic Metals*.
- [14] Khusayfan NM.,2016. Coumarin:GO doped Bi2O3composites/p-type silicon hybrid photodiodes. *Synthetic Metals*.
- [15] Dere A.,2014. Grafen esaslı fotodedektörlerin üretilmesi ve elektriksel özelliklerinin karakterizasyonu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [16] Serdal C.,2018. Silisyum tabanlı Alq3 arayüzeyli fotodiyotların elektriksel ve optiksel özelliklerinin incelenmesi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl.
- [17] Banu K.,2011. GaSb yarıiletken temelindeki infrared fotodiyotların karanlık akımlarının incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- [18] Dere A.,2014. Grafen esaslı fotodedektörlerin üretilmesi ve elektriksel özelliklerinin karakterizasyonu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [19] Şeftalici M.,2010. A10.47Ga0.53n schottky fotodedektör yapının optik ve morfolojik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Ankara.
- [20] Bilgen Y.,2008. Sol-Jel yöntemi ile üretilen nano kristal ZnO:Ga ince filmlerinin optik ve mikro yapısal özelliklerinin incelenmesi. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- [21] Türkoğlu A.,2007. GaAs-AlxGa1-xAs heteroyapı ve çoklu kuantum kuyu IR fotodedektörün elektro-optik özelliklerinin incelenmesi. Cumhuriyet Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas.
- [22] Borazan H.,2007. Yarıiletkenlerde kinetik olayların deneysel araştırma yöntemleri. Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van.
- [23] Çolak H., Değişik metal katkılı II-VI tipi yarıiletkenlerin sentezlenmesi, karakterizasyonu ve elektriksel iletkenliklerinin ölçülmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
- [24] Çavaş M.,2011. Nano yapıli metal oksit yarıiletkenler kullanarak foto diyotların üretilmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- [25] Denizhan Ö.,2015. YMnO3 ve YCoO3 Ferroelektrik Malzeme Esaslı Si Tabanlı Fotodiyotların Elektriksel Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- [26] Eren O.,2006. Alüminyum katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

- [27] S.M. Sze KKN.,2007. Physics of Semiconductor Devices. Wiley Interscience, New Jersey.
- [28] Bütün S.,2006. The Growth fabrication and characterization of high performance AlGa1-x N metal-semiconductor-metal photodiodes. Bilkent Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [29] Sze SM.,1981. Physics of semiconductor devices. 2nd Ed. New York: John Wiley.
- [30] Robert Boylestad LN.,2004. Elektronik elemanlar ve devre teorisi. Milli Eğitim Basımevi-İstanbul.
- [31] Yıldırım B.,2007. Al_{0.52}Ga_{0.48}N schottky fotodedyektör yapının optiksel ve yüzeysel özellikleri. İleri Teknolojiler, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [32] Ülküer F.,2014. Organik yarıiletken kullanılarak üretilen schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [33] Biyıklı N.,2004. High-performance AlxGa 1-x N-based UV photodetectors for visible/solar-blind applications. Bilkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- [34] İdris K.,2010. Metal-yarıiletken schottky diyotların elektriksel karakteristiklerin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [35] Hovel H.,1975. Solar Cells, Semiconductors and semimetals. 11th ed. New York: Academic Press.
- [36] Al-Ghamdi AA., Dere A., Tataroğlu A., Arif B., Yakuphanoglu F., El-Tantawy F., et al.,2015. Composite metal oxide semiconductor based photodiodes for solar panel tracking applications. Journal of Alloys and Compounds.
- [37] Yakuphanoglu F., Gunduz B., Al-Ghamdi AA., Farooq WA., and El-Tantawy F.,2015. Transparent ultraviolet photodiodes based conductive gallium-indium-oxide films/p-type silicon for solar panel tracking systems. Sensors and Actuators, A: Physical, 234, 212–222. Elsevier B.V.
- [38] Yakuphanoglu F., and Senkal BF.,2009. A hybrid p-Si/poly(1,4-diaminoanthraquinone) photoconductive diode for optical sensor applications. Synthetic metals, 159(3–4), 311–314.
- [39] Dere A., Tataroğlu A., Al-Sehemi AG., Al-Ghamdi AA., El-Tantawy FF., Farooq WA., et al.,2017. A functional material based photodiode for solar tracking systems. Physica B: Condensed Matter.
- [40] Mekki A., Ocaya RO., Dere A., Al-Ghamdi AA., Harrabi K., and Yakuphanoglu F.,2016. New photodiodes based graphene-organic semiconductor hybrid materials. Synthetic Metals.
- [41] Soylu M., Al-Ghamdi AA., Farooq WA., and Yakuphanoglu F.,2016. Correlations for coumarin additive on the electrical and photocatalytic activity of TiO₂modified by thiourea. Microelectronic Engineering.
- [42] M. Yıldırım.,2018. Characterization of the framework of Cu doped TiO₂ layers: An insight into optical, electrical and photodiode parameters. Journal of Alloys and Compounds.
- [43] Hendi AA., and Yakuphanoglu F.,2016. Graphene doped TiO₂/p-silicon heterojunction photodiode. Journal of Alloys and Compounds, 665, 418–427. Elsevier Ltd.
- [44] Koç MM., Aslan N., Erkovan M., Aksakal B., Uzun O., Farooq WA., et al.,2019. Electrical characterization of solar sensitive zinc oxide doped-amorphous carbon photodiode. Optik.
- [45] Dere A., Soylu M., and Yakuphanoglu F.,2019. Solar light sensitive photodiode produced using a coumarin doped bismuth oxide composite. Materials Science in Semiconductor Processing, 90(October 2018), 129–142. Elsevier Ltd.
- [46] Yakuphanoglu F.,2012. Semiconducting and quartz microbalance (QCM) humidity sensor properties of TiO₂ by sol gel calcination method. Solid State Sciences, 14(6), 673–676. Elsevier Masson SAS.
- [47] Ocaya RO., Al-Sehemi AG., Al-Ghamdi A., El-Tantawy F., and Yakuphanoglu F.,2017. Organic semiconductor photosensors. Journal of Alloys and Compounds.
- [48] Dakhel AA.,2013. Interfacial modification in Si/CdO heterojunction by Ge doping for optoelectronic applications. Solid State Sciences, 25, 33–38. Elsevier Masson SAS.
- [49] Karataş S., Yakuphanoglu F., and Amanullah FM.,2012. Capacitancevoltage and conductancevoltage characteristics of Ag/n-CdO/p-Si MIS structure prepared by solgel method. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 73(1), 46–51.
- [50] Yakuphanoglu F.,2008. Photovoltaic properties of the organic-inorganic photodiode based on polymer and fullerene blend for optical sensors. Sensors and Actuators, A: Physical.
- [51] Sahin B., Bayansal F., Yuksel M., Biyikli N., and Çetinkara HA.,2014. Effect of coumarin concentration on the physical properties of CdO nanostructures. Ceramics International, 40(4), 5237–5243. Elsevier.
- [52] Ortega M., Santana G., and Morales-Acevedo A.,2000. Optoelectronic properties of CdO/Si photodetectors. Solid-State Electronics, 44(10), 1765–1769.
- [53] Ismail RA., Al-Samarai AME., Mohmed SJ., and Ahmed HH.,2013. Characteristics of nanostructured CdO/Si heterojunction photodetector synthesized by CBD. Solid-State Electronics, 82, 115–121.
- [54] Yakuphanoglu F., Caglar Y., Caglar M., and Ilican S.,2010. ZnO/p-Si heterojunction photodiode by solgel deposition of nanostructure n-ZnO film on p-Si substrate. Materials Science in Semiconductor Processing.
- [55] Al-Hartomy OA., Gupta RK., Al-Ghamdi AA., and Yakuphanoglu F.,2014. High performance organic-on-inorganic hybrid photodiodes based on organic semiconductor-graphene oxide blends. Synthetic Metals.
- [56] Yakuphanoglu F.,2007. Photovoltaic properties of hybrid organic/inorganic semiconductor photodiode. Synthetic Metals.
- [57] Yakuphanoglu F., and Farooq WA.,2011. Organic-inorganic photosensor controlled by frequency based on nanostructure 1,4-diaminoanthraquinone and p-silicon. Synthetic Metals.
- [58] Farag AAM., Gunduz B., Yakuphanoglu F., and Farooq WA.,2010. Controlling of electrical characteristics of Al/p-Si Schottky diode by tris(8-hydroxyquinolino) aluminum organic film. Synthetic Metals.
- [59] Aydin ME., Yakuphanoglu F., Eom JH., and Hwang DH.,2007. Electrical characterization of Al/MEH-PPV/p-Si Schottky diode by current-voltage and capacitance-voltage methods. Physica B: Condensed Matter, 387(1–2), 239–244.
- [60] Yakuphanoglu F.,2011. Synthesis and electro-optic properties of nanosized-boron doped cadmium oxide thin films for solar cell applications. Solar Energy, 85(11), 2704–2709. Elsevier Ltd.
- [61] Kahraman S., Çakmak HM., Çetinkaya S., Çetinkara HA., and Güder HS.,2013. The effects of coumarin additive on the properties of ZnO nanostructures. Journal of Physics and Chemistry of Solids.
- [62] Yakuphanoglu F., Caglar M., Caglar Y., and Ilican S.,2010. Electrical characterization of nanocluster n-CdO/p-Si heterojunction diode. Journal of Alloys and Compounds, 506(1), 188–193. Elsevier B.V.

- [63] Dhole SG., Dake SA., Prajapati TA., and Helambe SN.,2018. Effect of ZnO Filler on Structural and Optical Properties of Polyaniiline-ZnO Nanocomposites. *Procedia Manufacturing*.
- [64] Chandramohan R., Ravikumar M., Shkir M., Arun Kumar KD., Kathalingam A., Ganesh V., et al.,2018. Fabrication of Eu doped CdO [Al/Eu-nCdO/p-Si/Al] photodiodes by perfume atomizer based spray technique for opto-electronic applications. *Journal of Molecular Structure*, 1160, 311–318. Elsevier B.V.
- [65] Naser GY., Raja WN., Faris AS., Rahem ZJ., Salih MA., and Ahmed AH.,2013. Some optical properties of CdO thin films. *Energy Procedia*, 36, 42–49. Elsevier B.V.
- [66] Tozlu C.,2010. Yeni perilen ve naftalen türevi organik yarıiletkenlerin alan etkili transistör uygulamalarında karakteristik özelliklerinin analizi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- [67] GÜNDÜZ B.,2011. Organik alan etkili transistörlerin üretilmesi ve elektriksel karakteristiklerinin incelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- [68] Şimşir N.,2012. Metal/organik/inorganik schottky diyodların sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [69] Erkol A.,2016. Metal-organik-yarıiletken yapıların arayüzey özelliklerinin belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [70] Demir O.,2011. Çok cidarlı karbon nanotüp ve TiO₂ tabaka ilavesinin P3HT:PCBM organik güneş pillerinin performansına etkileri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [71] Ezgi Deniz B.,2015. Sol – Jel yöntemi ile hazırlanan TiO₂ – SiO₂ nanokompozit ince filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [72] Şadan Ö.,2005. Silikon P-I-N fotodiyotların elektriksel karakterizasyonu. Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- [73] Aslan F., Esen H., and Yakuphanoglu F.,2019. The effect of coumarin addition on the electrical characteristics of Al/Coumarin:CdO/p-Si/Al photodiode prepared by drop casting technique. *Optik*, 197(April), 163203. Elsevier.
- [74] Aslan F., Esen H., and Yakuphanoglu F.,2019. Al/P-Si/Coumarin:TiO₂/Al Organic-Inorganic Hybrid Photodiodes: Investigation of Electrical and Structural Properties. *Silicon*.
- [75] Kanbur H.,2008. Yalıtkan tabakalı Al/p-Si schottky diyotlarda elektriksel karakteristiklerin sıcaklığa bağlı incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- [76] Kim HB., and Lee HS.,2014. Effect of Mg addition on the electrical characteristics of solution-processed amorphous Mg-Zn-Sn-O thin film transistors. *Thin Solid Films*, 550, 504-508. Elsevier.
- [77] Selman AM., and Hassan Z.,2016. Fabrication and characterization of metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetector based on rutile TiO₂ nanorod. *Materials Research Bulletin*, 73, 29–37. Elsevier Ltd.
- [78] Aslan F., Esen H., and Yakuphanoglu F.,2019. Electrical and fotoconducting characterization of Al/coumarin:ZnO/Al novel organic-inorganic hybrid photodiodes. *Journal of Alloys and Compounds*, 789, 595–606. Elsevier B.V.
- [79] Kesavan K., Kathalingam A., Kim HS., and Sundari ARU.,2016. Effects of fluorine doping on structural, optical and electrical properties of spray deposited CdO thin films. *Superlattices and Microstructures*, 100, 76–88. Elsevier Ltd.
- [80] Aydoğan Ş., Grilli ML., Yılmaz M., Çaldıran Z., and Kaçuş H.,2017. A facile growth of spray based ZnO films and device performance investigation for Schottky diodes: Determination of interface state density distribution. *Journal of Alloys and Compounds*, 708, 55–66.
- [81] Erol A., and Balkan N.,2015. Yarıiletkenler ve optoelektronik uygulamaları. 2. Baskı. Seçkin Yayıncılık, İstanbul.
- [82] Sarioğlu E.,2008. Bor katkılı silisyumun optik özellikleri. Dumlupınar Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- [83] Aydemir S.,2010. Bazı kumarin türevleri üzerinde teorik ve deneysel çalışmalar. Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Eskisehir.



PHASE CHANGE MATERIAL APPLICATIONS ON BUILDINGS USING WHOLE-BUILDING ENERGY SIMULATION TOOLS

Necla Seval Bayram^{*1,2}, Ahmet Vefa Orhon²

¹Department of Civil Engineering, Munzur University, Tunceli, Turkey

²Department of Architecture, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey

Abstract

Review paper

In this paper, building energy simulation tools that analyze the applicability of phase change materials used in passive air conditioning applications in different building components and in different climatic conditions and studies using these tools will be discussed. Within the scope of the study, the concepts of phase change materials and energy simulation tools will be examined and selected examples based on the scanning model will be examined according to different environmental conditions and application details. The study is a review that emphasizes the need to match the experimental researches conducted in recent years with energy simulation tools.

Keywords: Latent heat storage, Phase change materials, Simulation tools

ENERJİ SİMÜLASYON ARAÇLARI İLE BİNALARDA FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME UYGULAMALARI

Özet

Derleme makale

Bu çalışmada, pasif iklimlendirme uygulamalarında kullanılan faz değiştiren malzemelerin farklı yapı bileşenlerinde ve farklı iklim koşullarında uygulanabilirliğini analiz eden bina enerji simülasyon araçları ve bu araçların kullanıldığı çalışmalar ele alınacaktır. Çalışma kapsamında faz değiştiren malzeme ve enerji simülasyon araçları kavramları incelenerek tarama modeline dayalı olarak seçilen örnekler farklı çevresel koşullara ve uygulama detaylarına göre irdelenecektir. Çalışma son yıllarda yapılan deneysel araştırmaların enerji simülasyon araçlarıyla eşleştirilmesi gereğini vurgulayan bir derleme çalışmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Gizli ısı depolama, Faz değiştiren malzemeler, Simülasyon araçları

1 Giriş

İnşaat sektörü dünya genelinde yaşanan enerji tüketiminin % 30-40'ndan, bu oranın da % 80-85'inin ısıtma soğutma uygulamalarında kullanmasından sorumludur [1,2]. Bu tüketim oranını azaltmak, pasif sistemler adı verilen iklimlendirme uygulamaları, alternatif malzemeler ve enerji depolama yöntemleriyle mümkündür. Günümüzde iklimlendirme uygulamalarında verimliliği artırmak ve iç mekânda konfor koşullarını sağlamak amacıyla termal enerji depolama sistemlerine yönelim artmıştır. Termal enerji depolama, enerjiyi uygun şekilde kazanıp istenen enerji şekline dönüştürerek ısıtma ve soğutma sistemlerinde tasarruf sağlamanın en iyi yoludur. Duyulur, termokimyasal ve gizli ısı depolama şeklinde uygulanan termal enerji depolama yöntemleri arasında gizli ısı depolama, sabit sıcaklıklarda birim kütle/hacim başına düşen yüksek enerji yoğunluğu sebebiyle çok dikkat çekmiştir. Duyulur ısı depolama büyük oranda ısı depolayabilmesi ve geri kazanma çevriminin gerçekleşmesi sebebiyle tercih edilen bir yöntem olsa da, ihtiyaç duyulan depo hacminin çok büyük

olması sistemin en büyük dezavantajıdır [3]. Bu sistemde malzemenin yeterli bir duyulur ısı depolama kapasitesine ulaşması, daha büyük kütle ve daha büyük sıcaklık değişimiyle mümkündür [4]. Bu sebeple geleneksel mimaride kullanılan malzemelerle aynı oranda enerjinin daha büyük kütlelerle karşılanabilmesi, sistemin uygulanabilirliği açısından sorun yaratmaktadır. Gizli ısı depolama yöntemlerinde ise durum biraz daha farklıdır. Uygun sıcaklık aralığında maddenin hal değişimiyle sistemin sıcaklığı sabit kalmakta ve faz geçiş sürecinde ortaya çıkan bu ısı depolanmaktadır [5]. Bu da gerekli depo hacminin, duyulur ısıya göre çok daha küçük, depolama kapasitesinin ise çok daha büyük olduğu anlamına gelmektedir. Bu bağlamda talep edilen enerji ihtiyacını daha küçük kütlelerde karşılamak ve gizli ısı depolama yöntemini yapı uygulamalarında hayata geçirmek amacıyla tasarımcılar alternatif malzeme arayışına girmiştir. Faz değiştiren malzemeler de (FDM) gizli ısı depolama özelliği ile bina iklimlendirmelerinde verimliliği artıran yeni nesil malzemelerden biri olarak yapı uygulamalarında yerini almıştır.

* Corresponding author.

E-mail address: nsevalerdem@gmail.com (N. S. Bayram) | ORCID Number : 0000-0002-9522-0270

Received 7 October 2020; Received in revised form 23 November 2020; Accepted 30 November 2020

FDM'lerin gizli ısı depolama özelliği sayesinde, yapıların ısıtma ve soğutma uygulamalarında enerji talebinin azalması ve iç mekân konfor koşullarında verimliliğinin artırılması mümkündür. FDM'ler kendi iç sıcaklıklarını artırmadan ısıyı absorbe etmek ve salmak amacıyla faz geçişi olgusunu kullanan malzemelerdir. Büyük miktarlarda termal enerjiyi gizli formda saklayabilmeleri sayesinde, yapısal bileşenlerin sıcaklık dalgalanmalarını azaltarak ve istenen sıcaklık seviyeleri içinde tutarak bir binanın termal performansını ve termal konforunu artırabilmektedirler. FDM'nin çalışma prensibi; ortam sıcaklığı erime noktasını aştığında, bu sıcaklığın FDM tarafından kullanılarak erimesine, sıcaklık azaldığında ise tekrar donarak depoladığı ısıyı açığa çıkarmasına dayanmaktadır. Bu döngüyle iç mekân sıcaklığı konfor aralığında sabitlenmektedir [6]. FDM'nin işleyebilmesi, ortalama sıcaklığın FDM'nin erime noktasının üzerinde olması ve faz değişimini başlatmasıyla mümkündür. Organik, inorganik ve ötektik karışımlar olmak üzere 3'e ayrılan FDM'lerden insan konfor sıcaklığı arasında (18-26°C) erime noktasına sahip olanların yapı uygulamalarında kullanılması daha uygundur.

Ancak FDM'lerin etkinliği büyük ölçüde iklim koşullarına, erime sıcaklığına ve kullanıcıların davranışlarına bağlı olduğundan ve FDM'lerin doğrusal bir davranışı olmadığından her zaman beklenen enerji verimliliği sağlanamamaktadır. Bu bağlamda kurgulanan sistemin etkin termal performans göstermesi simülasyon analizi ile mümkündür. Bu nedenle, pasif FDM sistemlerinin enerji simülasyonu, daha fazla araştırılması gereken ve enerji değerlendirmesi için uygun matematiksel modeller gerektiren bir optimizasyon problemi olarak bulunmuştur. Çoğunlukla duvar, döşeme, tavan, çatı uygulamalarında yer alan FDM'leri uygun şekilde karakterize edebilmek ve yapıya doğru şekilde uygulayabilmek amacıyla malzeme kullanımı sayısal olarak analiz edilmelidir. Tasarım aşamasında kullanılacak olan enerji simülasyon araçları ile FDM'li binaların termal davranışlarını analiz edilmesi ve doğru tasarım kararları alınması mümkündür. Bu nedenle FDM'lerin davranış tahminlerini kapsayan birçok çalışma yapılmıştır. Bu makalede, pasif iklimlendirme uygulamalarında kullanılan FDM'lerin farklı yapı bileşenlerinde ve farklı iklim koşullarında uygulanabilirliğini analiz eden bina enerji simülasyon araçları ve bu araçların kullanıldığı çalışmalar ele alınmıştır. Çalışma kapsamında FDM ve enerji simülasyon araçları kavramları incelenerek tarama modeline dayalı olarak seçilen örnekler farklı çevresel koşullara ve uygulanma detaylarına göre irdelenmiştir. Çalışma son yıllarda yapılan deneysel araştırmaların enerji simülasyon araçlarıyla eşleştirilmesi gereğini vurgulayan bir derleme çalışmasıdır.

2 Faz Değiştiren Malzeme Uygulamalarında Kullanılan Enerji Simülasyon Programları

Bir yapının kullanımı süresince tüketilecek enerji miktarı ve gereksinimleri tasarım aşamasında belirlenmelidir. Bu sebeple FDM'li yapı bileşenlerinin, binanın ömrü boyunca göstereceği termal davranışı öngörmek ve enerji gereksinimlerini en aza indirmek için enerji simülasyon programlarının kullanımı önemli bir adımdır. Günümüzde farklı uygulamalar için birçok enerji

simülasyon programı var olsa da, FDM'li yapıların termal davranışını sayısal olarak analiz eden programlar çok kısıtlıdır. Standart olmayan sınır koşulları, FDM'lerin çok karmaşık geometriler ve doğrusal olmayan faz ön ara yüzleri gibi sorunlar, çoğu durumda analitik olarak verimli bir şekilde çözülemeyen bir soruna neden olmaktadır [7]. Bu bölümde, FDM teknolojisine dayalı pasif iklimlendirme uygulamalarında kullanılan simülasyon araçları gözden geçirilmiştir. Literatür incelemesine göre araştırmacılar tarafından binalarda FDM davranışını incelemek için EnergyPlus, TRNSYS ve PCM Express ve ESP-r kullanılmış ve bu simülasyon araçlarını doğrulamak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [8,9,10,11].

2.1 TRNSYS

TRNSYS modüler bir yapıya sahip olup, kullanıcının enerji sistemini oluşturan bileşenleri seçtiği ve bunları uygun giriş / çıkış bağlantı noktalarını kullanarak birbirine bağladığı, bileşen tabanlı bir simülasyon programıdır. ABD'nin Wisconsin, Madison Üniversitesi'nde Güneş Enerjisi Laboratuvarı tarafından geliştirilen yazılım dünya çapında yenilenebilir enerji mühendisliği, bina enerji simülasyonları, pasif ve aktif güneş tasarımları alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. TRNSYS aynı zamanda FDM'li yapı kabuklarının bina enerji performans analizlerinde kullanılan ilk ticari sayısal modellerden biridir. 1990 yılında Tomlinson ve Heberle, Oak Ridge Ulusal Laboratuvarında TRNSYS kodunu bir FDM duvar kaplaması modeli içerecek şekilde değiştirmiştir [12]. 1975'ten beri piyasada bulunan TRNSYS, modüler bir yapıya sahiptir ve FORTRAN programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir [13]. Bina kabukları, ısı pompaları, toprak bağlantılı sistemler ve güneş enerjisi bina uygulamaları gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanıcı dostu bir grafik arayüz, bağımsız bileşenler ve matematiksel modüller kullanılmaktadır. TRNSYS kodu, her bina bileşeninin açık tanımına ve çeşitli kontrol stratejilerine izin vermektedir. TRNSYS'deki her sistem bileşeni bir tür olarak tanımlanmakta ve bunu TRNSYS koduna entegre etmek için ilgili tüm matematiksel parametreleri içermektedir. TRNSYS motoru sistem bileşenlerini girdi dosyasına göre çağırarak ve sayısal denklemler sistemi çözülene kadar her adımda tekrarlamaktadır. TRNSYS alt yapılarının (tıplerinin) her biri simülasyon sırasında veri akışını sağlamak için birbirine bağlanabilmektedir. TRNSYS bina simülasyonlarına hava koşullarını dahil etmek için saatlik değerler üzerinden çalışan tipik bir meteorolojik yıl (TMY) dosyası kullanılmaktadır. TRNSYS kütüphanesi, binaların simülasyonu için özel olarak tasarlanmış çeşitli bileşenlerden, HVAC, aktif ve pasif FDM, aydınlatma, havalandırma, güneş enerjisi, termal enerji depolama ve ayrıca hava durumu verilerinin veya diğer zamana bağlı işlevlerinin ve simülasyon sonuçlarının çıkışının desteklenmesi için bileşen rutinlerinden oluşmaktadır. Buna ek olarak kütüphanede bulunmayan elemanlar sonradan eklenebilmekte veya mevcuttakiler modifiye edilebilmektedir. Örneğin; bileşen rutinleri üzerine ana denklemler, dökümanlar, zaman adımı, başlama ve bitiş zamanı gibi [14]. Ayrıca yazılımda bulunmayan yeni matematiksel modeller de eklenebilmekte ve mevcut bileşenlerle birleştirilebilmektedir [15]. Ancak eklenen bu

bireysel matematiksel modellemelerin doğrulanması gerekmektedir. Program aynı zamanda Excel, CONTAM, COMIS, FLUENT, EES, GenOpt ve MATLAB gibi simülasyon programlarıyla bir arada çalışabilmektedir [14].

2.2 ESP-r

ESP-r, Birleşik Krallık Strathclyde Üniversitesi, Enerji Sistemleri Araştırma Birimi (ESRU) tarafından 1974 yılında geliştirilen açık kaynaklı bir bina performans enerji aracıdır. Bina bileşenlerinin termal analizi ve bina enerji simülasyonları için kullanılan bu yazılım, FDM'leri simüle etmek için yerleşik bir kapasiteye sahiptir. Bu amaçla, ESP-r (erime ve katılma) iki farklı özgül ısı profili kullanmaktadır [12]. Program, iklim koşulları, hava dağılımı, dış gölgeleme, iç enerji kazanımları ve bina mekanik sistemleri gibi çeşitli faktörlerin etkisini entegre edebilmektedir. ESP-r, doğrudan kullanılabilen veya değiştirilebilen önceden tanımlanmış bir malzeme ve inşaat katmanları veritabanına sahiptir. Ayrıca binaların enerji ve çevresel performansını etkileyen bir dizi faktörün ayrıntılı bir şekilde parametrik analizine izin vermektedir. Günümüzde ESP-r, çok sayıda danışmanlık ve öğretim uygulaması için de kullanılmasına rağmen, en iyi araştırma aracı olarak bilinmektedir. 2000 yılından bu yana, eklenen FDM modülü ile ESP-r, özel malzeme konseptini kullanarak faz mekanizmalarını simüle edebilir konuma gelmiştir [16]. Bu modül, malzeme değiştirme yoluyla enerji dengesi denkleminde faz geçişinin girilmesini sağlamaktadır. ESP-r'de, bazı dış faktörlere (yani sıcaklık veya radyasyon) yanıt olarak termal-fiziksel özelliklerini değiştirebilen aktif yapı bileşenlerini modelleme aracı olarak özel malzemeler kullanılmaktadır. ESP-r'de, özel malzeme fonksiyonları çok katmanlı bir yapı içindeki belirli bir düğüme uygulanabilmektedir. Özel bir malzeme olarak tanımlanan herhangi bir düğüm, daha sonra temel termo-fiziksel özelliklerinde bir zaman varyasyonuna tabi tutulmaktadır. ESP-r, FDM katmanı boyunca bir boyutlu ısı transferini varsaymaktadır.

2.3 EnergyPlus v8.6.0

EnergyPlus, ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilen açık kaynaklı ve çok platformlu bir bina enerji performans modellemesidir. Başlangıçta daha önce geliştirilen BLAST veya DOE-2 gibi bina enerji araçlarının en popüler özelliklerine ve yeteneklerine dayanırken, EnergyPlus bir saatten az zaman adımları, modüler sistemler ve ısı ile entegre tesisler gibi birçok yenilikçi simülasyon özelliklerini içermektedir [17]. Yazılıma ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su, iç ve dış aydınlatma, yerinde elektrik üretimi ve gölgeleme cihazları, pencere, aktüatörler ve çift cephe elemanları gibi mekanize sistemler entegre edilebilmektedir [18]. Bu yazılıma güç veren diğer özellikler, gelişmiş fenestrasyon analizinin yanı sıra genel kabuk hesaplamaları (dış ve iç konveksiyon algoritmaları), gelişmiş sızma, havalandırma, oda havası ve çok bölgeli hava akışı hesaplamaları, çevresel emisyonlar, yaşam döngüsü maliyetleri ve enerji maliyetleri gibi değerlendirmelerdir. Buna ek olarak, diğer simülasyon araçlarına kıyasla EnergyPlus, kullanıcının termal konforunu ve iç mekan hava kalitesi ölçümlerini

analiz etmek için çeşitli gelişmiş termal konfor algoritmaları içermektedir. Ayrıca, EnergyPlus'ın öğrenciler, araştırmacılar, mimarlar ve mühendisler gibi farklı kullanıcı türleri tarafından kullanımını basitleştirmesi için çeşitli grafik arayüzleri bulunmaktadır [19,20]. EnergyPlus modelleri, temel ısı dengesi prensiplerini hemen hemen her açıdan takip etmektedir. Bununla birlikte, bina yüzeyi konveksiyonlarının simülasyonu, BLAST'tan miras alınan bir iletim transfer fonksiyonu (CTF) yöntemine dayanmaktadır. Günümüzde bina kabuklarında değiştirilebilir malzemeler, FDM'ler veya değişken termal iletkenliğe sahip yalıtımlar gibi dinamik bileşenler kullanmaya başlandığından, termal ve enerji analizlerinde daha gelişmiş sayısal yöntemler kullanmak da gerekli hale gelmiştir. Bu sebeple, bir iletim sonlu fark (CondFD) yöntemi EnergyPlus'a dahil edilmiştir.

2.4 PCM Express

PCM Express, FDM'li binalar için geliştirilen bir bina enerji simülasyon aracıdır. PCM Express Valentin Energie software GmbH, tarafından "Binalarda Aktif FDM Depolama Sistemleri" nin analizi için kullanıcı dostu bir simülasyon programının geliştirilmesine odaklanan araştırma projesi ile bağlantılı olarak geliştirilmiştir. Bu proje Alman İş ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenmiş ve Freiburg, Almanya'daki Fraunhofer ISE ve diğer endüstriyel ortaklarla işbirliği içinde gerçekleştirilmiştir [21]. Bu geliştirme programının temel amacı, FDM'li bina uygulamalarının pazarda benimsenmesini hızlandırmak amacıyla, bina tasarımcılarına güvenilir bir karar verme aracı sağlamaktır.

PCM Express'te FDM; zeminin, tavanın veya duvar yapısının bir parçası olabilmektedir. FDM'li materyallerdeki faz geçişi etkisini tanımlamak için FDM'nin şarj ve deşarjını doğru bir şekilde simüle etmek gerekmektedir. FDM dışındaki malzemeler sabit bir ısı kapasitesi ile, FDM'ler ise sıcaklığa bağlı entalpi eğrisinin kullanımı ile tanımlanmaktadır [12]. PCM Express programındaki matematiksel modeller ve sayısal algoritmalar Fraunhofer ISE tarafından geliştirilmiştir. PCM Express'te, bina kabuğu bileşeninin tüm katmanları, matematiksel düğüm modelinde bir düğüm olarak simüle edilmektedir. Düğümler arasındaki ısı akışı, termal iletkenliğin bir fonksiyonu olarak hesaplanmakta ve iki katmanı birleştiren hayali bir kenar ile temsil edilmektedir. Dış katman bir kenar üzerinden dış ortama bağlanmaktadır. Pencerelerden gelen ışınlar, yapı kabuğunun iç hava düğümlerine ve iç katmanına dağıtılmaktadır. Tüm hava düğümleri ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi alan koşullandırma sistemleriyle bağlantılıdır.

3 Yapılan Çalışmalar

3.1 TRNSYS Uygulamaları

Schranzhofer ve ark., yaptıkları çalışmada FDM enerji depoları ve FDM'li duvar elemanları için TRNSYS simülasyon modelinin doğrulamasını yapmıştır. Çalışmada mikro-kapsüllenmiş FDM'lerin yanı sıra çeşitli şekillerde makrokapsüllenmiş (silindirler, küreler, plakalar) FDM malzeme modülleri de işleme alınmıştır.

Buna ek olarak TRNSYS 16'nın çok bölgeli bina tipi 56 ile birleştirilebilen bir FDM duvar modeli analiz edilmiştir. Her iki FDM depolama modeli (Tip 240) ve FDM duvar katmanı modeli (Tip 241) için birkaç farklı deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak bazı örnek simülasyon sonuçları sunulmuştur. Buna göre yapılan simülasyon ve ölçümler arasındaki karşılaştırma çok iyi bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Sonuçlar modelin güvenilir olduğunu ve yaklaşımların depolama birimlerindeki gerçek koşulları tatmin edici bir şekilde tanımladığını göstermiştir. Karmaşık TRNSYS simülasyonlarında güvenilirlik ve kullanım ile ilgili daha fazla test ve geliştirme planlanmıştır [22].

Al-Saadi ve Zhai, FDM ile geliştirilmiş duvarların simülasyonu için yeni bir TRNSYS türü geliştirmiş ve doğrulamıştır. Çalışmada TRNSYS tercih edilme sebebi; saha çalışmalarından farklı olarak, hesaplamalı modellemenin daha ucuz olması ve bina uygulamalarında FDM'lerin tasarımlarını analiz ve optimize etmek için bu yazılımın etkili bir araç olmasıdır. Ayrıca TRNSYS'e "Simulation studio" ve MATLAB, FLUENT gibi harici programlar dahil olmak üzere birçok özellik tanıtılması ve FDM modellemesi için tescilli "TYPES" paketinin yer alması diğer tercih sebepleridir [13]. Çalışmada termal performansı değerlendirmek ve optimum özellikleri tanımlamak için ABD iklim koşulları altında FDM'nin termal özellikleri simüle edilmiştir. Buna göre simülasyonda doğrulanmış modül kullanılarak, en iyi konfigürasyonun, FDM'nin kontrollü iç mekan ile doğrudan temas halinde olduğu konfigürasyon olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, iklime bağlı olarak yıllık soğutma yükünde maksimum % 0.8-15.8 oranında tasarruf sağlandığını göstermektedir. Soğuk iklimler için, yıllık ısıtma yükünden edinilen tasarruf % 4'ten azdır. Pik yüklerdeki tasarrufun, bazı iklimler için yıllık yüklerden daha fazla potansiyel gösterdiği bulunmuştur. Pik soğutma yükünde maksimum tasarruf % 6.8 ile 13.3 arasında değişirken, pik ısıtma yükünde tasarruf % 7 ile 10.5 arasındadır [23].

Plytaria ve ark., ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmak için bina duvarlarında FDM'lerin kullanımını incelemiştir. Bu çalışmanın yeniliği, FDM tabakasının güney ve kuzey duvarlarındaki konumu ile ilgili farklı senaryoların araştırılmasına dayanmaktadır. Daha spesifik olarak, bu çalışma Atina (Yunanistan) 'da bir ofis binasının güney ve kuzey duvarlarında farklı pozisyonlarda ısıtma, soğutma yüklerini ve sıcaklık dağılımını, FDM'li ve FDM'siz olarak karşılaştırmasını yapmıştır. Simülasyon, TRNSYS bileşeni ticari tip TRNSYS 17 ile gerçekleştirilmiştir: Tip 1270 (PCM Wall). TRNSYS'nin kullanıcının "sürükle ve bırak" prosedürüyle seçtiği bileşenlerle çalışan bir yazılım olması, varsayılandan farklı koşullar olduğunda uygun ayrıntıların kullanıcı tarafından belirlenmesi çalışmada bu yazılımın tercih edilme sebebidir. Çalışmada bina kabuğu, Tip 56 düzenleme modunda uygun katmanlar seçilerek belirlenmiş, son olarak, 10 dakikalık zaman adımını seçmek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Modelin doğruluğunu test etmek için daha önceden yapılan deneysel sonuçlar simüle edilmiş ve yazılımın güvenilirliği doğrulanmıştır. Sonuçlar, yılda maksimum enerji tasarrufunun, kuzey ve güney duvarlarındaki yalıtım ve FDM tabakası kombinasyonu ile elde edildiğini

kanıtlamıştır. Isıtma ve soğutma yüklerindeki azalmalar sırasıyla % 1.54 ve % 5.90 olarak bulunmuştur [24].

Borderon ve ark. yaptıkları çalışmada Fransa'nın farklı iklimlerdeki 4 farklı şehrinde, FDM'li bir konut yapısının davranışını analiz etmek için farklı konfigürasyonlarda simülasyonlar yapmıştır. Bu iklimlere göre, FDM kullanımının verimliliğini artırmak için gerekli koşullar analiz edilmiştir. Çalışmada TRNSYS yazılımı, FDM / havalandırma sistemi modeli için Matlab ile birlikte kullanılmıştır. Böyle bir sistemin birim sayısı değiştirilebilmekte ve farklı iklimlere uyarlanabilmektedir. Karşılaştırmalar FDM'siz klasik sistemlerle yapılmıştır. İncelenen vakaların çoğunda, geceleri FDM'de kısmi katılaşma görülmüştür. Bu durum, FDM sisteminin optimal olmayan bir kullanımına yol açmaktadır. Bu soruna, sistemdeki hava akış oranlarını kontrol etmek ve gece sıcaklığı düştüğünde bunu artırmak çözüm olarak düşünülmüştür. Sonuçlara göre havalandırmaya bağlanan FDM sistemi ile evdeki termal konfor, 4 iklimde de önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Lyon ve Trappes'te yazın aşırı ısınmanın görüldüğü saat dilimlerinde düşüş görülmüştür. Bu sonuçlara ulaşmak için havalandırma sisteminde 700 kg FDM kullanılmıştır. [25]

3.2 Energy Plus Uygulamaları

Ascione ve ark. dinamik bileşenlerin Akdeniz iklimlerinde bina soğutma talebinin azaltılmasına katkıda bulunup bulunamayacağını araştırmıştır. Çalışmada Energy Plus kullanılmıştır. Bir ofis binası, tüm soğutma sezonu boyunca (1 Mayıs - 30 Eylül arasında), bina kullanımı, iç kazanımlar, kullanıcı yoğunluğu, soğutma sistemlerinin aktivasyonu dikkate alınarak analiz edilmiştir. Ofis binası, iç duvarları FDM + sıvalı, iyi izole edilmiş büyük bir yapı olarak kurgulanmış ve saatlik ölçümler alınarak soğutma enerjisi tasarrufu analiz edilmiştir. Analizlerde beş Akdeniz iklimi dikkate alınmıştır: Ankara (Türkiye), Atina (Yunanistan), Napoli (İtalya), Marsilya (Fransa), Sevilla (İspanya). Ölçümler faz değişim sıcaklığı, FDM duvar kaplamasının kalınlığı ve FDM tabakasının konumunun etkileri çerçevesinde yapılmıştır. Soğutma için birincil enerji taleplerinin mutlak tasarruflarının değerlendirilmesinin ötesinde, sırasıyla iklimli bir bina ve doğal havalandırılmalı bir bina dikkate alınarak enerji tasarruf oranı ve aşırı ısınma süresi hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre bu çalışma, bina uygulamalarında FDM'lerin uygun tasarımı ve seçimi için yol gösterici bilgiler önermektedir. Simülasyon sonuçlarına göre her iklim koşuluna referans olarak, en yüksek soğutma enerjisi tasarrufu, bina duvarına 3 cm FDM'li sıva uygulanmasıyla elde edilmiştir. Genel olarak, enerji talebi FDM kalınlığının artmasıyla azalmıştır. Ayrıca kullanılan FDM, tüm soğutma mevsimi boyunca, tüm Akdeniz ülkeleri için aynı verimi göstermemiştir. Erime sıcaklığı 29°C FDM ile Ankara'da soğutma enerjisi talebi % 7.2 civarında azalırken, Sevilla ve Napoli'de ulaşılabilir fayda % 3.0'dan daha düşüktür [26].

Chan tarafından yapılan çalışmada, oturma odası ve yatak odasında inşa edilen dış duvara FDM entegreli tipik bir konut dairesi modellenerek termal / enerji performansı araştırılmış ve duvar oryantasyonunun etkisi de değerlendirilmiştir. Karşılaştırma için geleneksel bina cephesine sahip bir konut dairesi alınmış ve EnergyPlus

programı kullanılmıştır. EnergyPlus'a dahil edilen bir iletim sonlu fark algoritması, FDM'nin termal performansını simüle edilmesini sağlamaktadır. Algoritma, faz değişim enerjisini hesaba katmak için bir entalpi sıcaklık fonksiyonu ile birleştirilmiş örtülü sonlu fark şeması uygulamaktadır. Buna göre yapılan simülasyonda batıya bakan konutun oturma odasının daha iyi performans gösterebileceği bulunmuştur. İç yüzey sıcaklığında maksimum % 4.14'e kadar nispeten daha yüksek bir azalma sağlamıştır. Ayrıca, iklimlendirme sisteminde yıllık % 2.9 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ancak 91 yıllık geri ödeme süresi açısından, FDM'li konut dairesinin bina cephesinde uygulanması, esas olarak FDM'nin pahalı sermaye maliyeti nedeniyle Hong Kong'da kullanımını ekonomik olarak olanaksız kılmaktadır. Öte yandan, bu bina durumu için enerji geri ödeme süresi 23.4 yıl olarak tahmin edilmiş, bu da enerji tasarrufunun FDM duvar kaplamasının somut enerjisini aşabileceğini ve sera gazı emisyonunu azaltabileceğini göstermiştir [27].

Lei ve ark. tropikal iklimde soğutma yükünün azaltılması için FDM'li bina kabuğunun enerji performansına etkisini simüle ederek kıyaslamıştır. İdeal bir HVAC sistemine sahip beton bir yapının düşey duvarlarının dış yüzeylerine 28°C faz değişim sıcaklığına sahip 3mm'den 20 mm'ye bir FDM katmanı ilave ederek karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada, simülasyon programı olarak faz değişim enerjisini hesaba katmak için tamamen örtülü bir sonlu fark şeması ile çözülen CondFD algoritmalı EnergyPlus'ın bir versiyonu, entalpi sıcaklık fonksiyonu ile birlikte kullanılmıştır. Singapur'da kurgulanan çalışmada soğutma yükünün azaltılması için FDM lavesinin performansını yöneten faktörleri ortaya koymak amaçlanmıştır. Sonuçlar, FDM'nin tüm yıl boyunca, ısı kazanımlarını % 21-32 aralığında etkili bir şekilde azaltabildiğini ve FDM'lerin tropik bölgelerde sadece belirli mevsimlerde etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca duvarların dış yüzeylerine uygulanan FDM'ler daha iyi performans göstermiştir [28].

Nghana ve Tariku tarafından yapılan çalışmada FDM'lerin potansiyelini incelemek için sayısal ve deneysel analizler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, aynı iç ve dış ortam koşullarına maruz kalan yan yana eş binalar kullanılarak yürütülmüş ve sayısal çalışmalar için EnergyPlus kullanılmıştır. Sayısal çalışmada, bina yönü ve pencere-duvar oranı gibi farklı tasarım parametrelerinin etkilerine özellikle vurgu yapılarak mevcut bir apartman dairesi kullanılmıştır. Deneysel veriler, FDM'lerin ısı akış yönünü tersine çevirerek iç ortam havasını stabilize etmede etkili olduğunu göstermektedir. İç mekân ve duvar sıcaklığı dalgalanmaları sırasıyla 1.4°C ve 2.7°C azalmıştır. Ayrıca, sayısal veriler, FDM'lerin yaz ayları için önemli bir termal konfor iyileştirmesi getirmediğini ancak kış koşullarında ısıtma enerjisi talebini % 57'ye kadar düşürdüğünü göstermiştir [29].

3.3 ESP-r Uygulamaları

Almedia ve ark. birden fazla FDM katmanının kullanılmasına karşı tek bir katman kullanılmasının etkisini araştırmıştır. Genel olarak FDM uygulamasının binanın termal performansını önemli ölçüde etkileyebileceği bulunmuştur. Ayrıca çok katmanlı FDM'nin bazı durumlarda tek katmanlı FDM'den daha

gerçekçi termal fayda sağladığı görülmüştür. Çalışmada simülasyon programı olarak ESP-r kullanılmıştır. ESP-r'in tercih edilme sebebi; doğrudan kullanılabilen veya değiştirilebilen, önceden tanımlanmış bir malzeme ve inşaat katmanları veritabanına sahip olması ve FDM'de depolanan etkin spesifik ısı, termal iletkenlik ve faz değişikliği etkilerini göstermek için yerleşik bir kapasiteye sahip olmasıdır. Kurgulanan sistemde HVAC ve havalandırma kullanılmamış, simülasyon süresi Toronto iklim verileri kullanılarak 1-14 Haziran arasında tutulmuştur. Çok katmanlı FDM'lerin etkisini göstermek için basit bir tek odalı ev modellenmiştir. Mermer, beton, çakıl ve topraktan olmak üzere dört katmandan oluşan standart bir zemin yapısı kullanılmıştır. FDM, dört duvarın ve tavanın iç yüzeyine yerleştirilmiştir. Duvarlar; FDM, hava boşluğu, beton, yün ve tuğladan oluşan beş katmandan oluşmaktadır. Tavan ise dört kat FDM, bir hava boşluğu, beton ve çatı keçesinden oluşan standart bir veritabanı malzemesine dayanmaktadır. Bunlar tek katmanlı FDM modelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, çok katmanlı FDM modeli için, tek katmanlı FDM, toplam kalınlık aynı kalacak şekilde dört FDM katmanı ile değiştirilmiştir. Simülasyon altı farklı durum için dikkate alınarak yapılmıştır: FDM ile ve FDM olmadan, 8 mm'ye karşı 40 mm FDM, tek katmana karşı dört FDM katmanı. Simülasyon sonuçlarına göre FDM varlığının oda sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi olabileceği bulunmuştur. Ayrıca, yapılan karşılaştırmalarda 8 mm FDM katmanı için, tek katmanlı ve dört katmanlı modeller arasında çok az fark vardır veya hiç fark yoktur. 40 mm FDM katmanı için, hem oda hem de yüzey sıcaklıklarında tek katmanlı ve dört katmanlı modeller arasında önemli bir fark bulunmuştur [30].

Kosny ve ark. sıcak ve karma iklimlerde soğutma enerjisi tüketimini en aza indirmek için konut tavanlarının termal tasarımını iyileştirmenin potansiyel yollarını araştırmıştır. Çalışmada kalın çatı katı yalıtımlarının ve FDM'li yalıtımların dinamik termal özellikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Buna göre potansiyel enerji tasarruflarını analiz etmek ve FDM'nin çatı izolasyonu içindeki yerini optimize etmek için tek katlı bir çiftlik evinde bina ve malzeme ölçeğinde bir dizi sayısal simülasyonu yapılmıştır. Yazılım olarak ESP-r kullanılmıştır. Çalışmada ESP-r tercih edilmesinin sebebi, yazılımın iki farklı özgül ısı profilini (erime ve katılaşma) modellemek için yerleşik bir kapasiteye sahip olmasıdır. ESP-r enerji simülasyon sonuçları (60 dakikalık zaman adımı için) Phoenix iklimi dikkate alınarak simüle edilmiştir. Sonuçlar yoğunlaştırılmış FDM'li konfigürasyon 2-A'nın dağınık FDM'li konfigürasyon 1-A'dan daha düşük bir soğutma yüküne sahip olduğunu göstermiştir. Soğutma mevsimi boyunca, 1-A, 2-A için % 3.1'e karşılık % 5.6 soğutma yükü tasarrufu sağlamıştır (her iki konfigürasyon da FDM'siz temel durumla karşılaştırılmıştır). Tüm yıl boyunca % 6.2 tasarrufla 2-A'nın, % 3.6 tasarrufla 1-A'dan daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Yıllık tasarruflar, hem ısıtma hem de soğutma yükleri için yapılan tasarrufları içermektedir. Tavan arası üretilen yükler, simüle edilmiş tek katlı çiftlikte, tüm bina yüklerinin yaklaşık % 14'ünü temsil ettiğinden, yıllık tavan arası üretilen yük tasarrufu, 1-A ve 2-A uygulamaları için sırasıyla yaklaşık % 26 ve % 44'e ulaşabilmektedir [31].

Heim ve Clarke, yaptıkları çalışmada FDM'lerin davranış modellemesini özel malzeme tesisine dahil ederek ESP-r sistemini geliştirmeyi amaçlamıştır. Faz geçişinin etkisi, etkili ısı kapasitesi yöntemine göre, gizli bir ısı üretim terimi olarak enerji dengesi denkleminde eklenmiştir. Çok bölgeli, çok camlı ve doğal havalandırılmalı bir pasif güneş enerjisi binası için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. İç oda astarı olarak FDM emdirilmiş alçıpan kullanılmıştır. Hava ve yüzey sıcaklıkları FDM'siz örnek ile karşılaştırılmış ve günlük gizli ısı depolama etkisi analiz edilmiştir. Bu etki günlük sıcaklık dalgalanmasında önemli bir azalmaya neden olmamakla birlikte, FDM'ler geçiş dönemlerinde güneş enerjisini etkili bir şekilde depolamıştır. Ayrıca, ısıtma mevsiminin başlangıcında ve sonunda enerji gereksinimi tahmin edilmiş ve sıradan alçı duvar kaplamasıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, FDM alçı panellerinde depolanan güneş enerjisinin kış mevsiminde ısıtma enerjisi ihtiyacını % 90'a kadar azaltabildiğini göstermektedir [32].

Almeida ve ark. çalışmalarında, FDM'li bir binayı simüle etmek için mevcut sayısal yöntemleri gözden geçirmiş ve modelleme şemasının iki formunu ayrıntılı olarak incelemiştir. Çalışmada FDM'li, penceresiz, tek odalı bir binanın termal davranışını analiz etmek için iki farklı yöntemin karşılaştırması yapılmıştır. Birinci yöntem, yaygın olarak kullanılan görünür ısı kapasitesi yöntemidir. Diğer yöntem ise yinelemeli düzeltme şemasıdır. Düzeltme şeması yöntemi için Matlab programı kullanılmış ve bir ESP-r simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada FDM dört katmana ayrılarak çok katmanlı bir yaklaşımla bir karşılaştırma yapılmıştır. Oda sıcaklığı FDM sıcaklık aralığının (yani hissedilebilir ısı) dışında olduğunda, hem düzeltici şema hem de ESP-r modeli benzer sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte, faz değişim sıcaklık aralığı içinde, Fourier ve Biot numarasına bağlı olarak farklılıklar görülmüştür [33].

3.4 PCM Express Uygulamaları

Rodriguez-Ubinas ve ark. yaptıkları çalışmada farklı İspanya iklim koşullarında kurgulanan bir yapıda FDM'lerin iç sıcaklık stabilizatörleri olarak etkinliğini ölçmüşlerdir. Çalışmanın amacı FDM uygulamasının ne zaman ve nerede kullanılmasının daha uygun olduğunu belirlemektir. Daha spesifik olarak, FDM'li uygulamada pencere boyutlarının ve gölgeleme faktörünün etkisini tanımlamak ve en uygun kombinasyonları bulmaktır. Her durumda yıllık iç sıcaklık davranışını tahmin etmek için FDM'li ve FDM'siz bir test odası PCM Express yazılımı ile simüle edilerek karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Test odalarının termal performansı, farklı cephe camlama oranları ve gölgeleme kombinasyonları çerçevesinde ve farklı İspanya iklim bölgelerinde saatlik olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, yapı bileşenlerine FDM eklenmesinin, iç termal konforun korunmasına yardımcı olduğunu ve incelenen tüm İspanya iklimlerinde yüksek ve

düşük sıcaklık piklerini azalttığını göstermektedir. FDM termal stabilizasyon kapasitesi yaz aylarında daha belirgindir. [34].

4 Sonuç

Bu çalışma, FDM ile geliştirilmiş binaların iklimlendirme potansiyellerini analiz etmek için bina enerji simülasyon araçları tarafından sağlanan sayısal yöntemleri incelemektedir. Tablo 1'de de görüleceği gibi, incelenen literatür çalışmaları FDM'lerin bir çok kullanım alanına sahip olduğunu göstermektedir. FDM'nin binalarda kullanımında genel olarak FDM'nin pasif olarak şarj edildiği ve güneş enerjisi / harici sıcaklık veya dahili bir ısı kaynağı ile deşarj edildiği pasif sistemlere (iç kontrol sistemleri) odaklanılmıştır. İklimlendirme çalışmalarında alçıpan duvar, düşey duvar, zemin ve çatı katı gibi birçok yapı elemanına dahil edilen FDM'ler mikrokapsüllü veya makrokapsüllü olarak kullanılabilir. Özellikle FDM'lerin duvar panellerinin uygulanması, uygulama kolaylığı ve yüksek verimlilik sağlaması sebebiyle araştırmacılar arasında popüler bir uygulamadır. FDM tabakasının kalınlığının ve erime noktasının tasarruf sağlamada belirleyici bir etken olduğu görülmektedir. Birçok çalışmada maliyetin göz ardı edildiği görülmüştür. Maliyetin hesaba katıldığı çalışmalarda ise FDM'nin uzun süreli kullanımda ekonomik olmadığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca iklim koşullarına uygun erime noktasına sahip FDM seçimi, verimliliği önemli ölçüde etkilemiştir.

FDM'li sistemlerin temel amacı, binanın enerji talebini azaltmak ve termal konforu iyileştirmektir. Bununla birlikte, bu sistemler, uygun bir performans elde etmek için çok özel tasarımlar gerektirdiklerinden, tasarım süreçlerinde ve FDM seçiminde zorluklar çıkarmaktadır. FDM'lerin yapı içerisinde fonksiyonel olması ve iklimlendirme çalışmalarında verim sağlaması için göz önüne alınması gereken birçok ölçüt vardır. İklim koşullarına uygun erime noktasına sahip FDM seçimi, FDM'nin uygulanacağı yapı detayı içerisindeki konumu, miktarı, kapsülleme yöntemi gibi detaylar, yapının kullanım sürecindeki verimliliğini etkileyen önemli kararlardır. Bu kararların doğru alınması tasarım aşamasında atılacak doğru adımlarla mümkündür. Öngörülen farklı çalışma koşulları için (hava koşulları, binanın kullanımı ve kullanıcı sayısı, vb.), FDM'nin davranışı değişebilmekte ve faz değişim sıcaklığı artık uygun olmayarak faydalarını azaltabilmekte ve hatta ortadan kaldırabilmektedir. Bu sebeple pasif iklimlendirme uygulamalarında FDM'lerin fonksiyonel olması ve tasarımda doğru kararlar alınması için enerji simülasyon araçları gerekmektedir.

Bu sayede yapıları gerçek koşullarda uzun süreçte denemektense, bu kararları simüle ederek seçenekleri önceden görmek mümkündür.

Tablo 1. Karşılaştırma Tablosu

Bina Tipi	FDM	Gizli Isı kJ/kg	Erime noktası °C.	Uygulama detayı	Simülasyon programı	Sonuç	Referans
Test odası	Mikrokapsüllü ve makrokapsüllü	Mevcut değil	23-26	FDM enerji depoları ve FDM'li duvar elemanları	TRNSYS (Tip 240-241)	Simülasyon ve ölçümler arasındaki karşılaştırma çok iyi bir korelasyon göstermiştir.	[22]
Konut yapısı	Makrokapsüllü	200	20-27	İç duvarlar, dış duvar	TRNSYS	Yıllık soğutma yükünde maksimum % 0.8-15.8 oranında tasarruf sağlanmıştır.	[23]
Ofis yapısı	Mikrokapsüllü	175	25	Duvar elemanı	TRNSYS 17	Isıtma ve soğutma yüklerindeki azalmalar sırasıyla % 1.54 ve % 5.90'dır.	[24]
Konut yapısı	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	21-25	Havalandırma	TRNSYS ve MATLAB	Havalandırmaya bağlanan FDM sistemi ile evdeki termal konfor, 4 iklimde de önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Lyon ve Trappes'te yazın aşırı ısınmanın görüldüğü saat dilimlerinde düşüş görülmüştür. Bu sonuçlara ulaşmak için havalandırma sisteminde 700 kg FDM kullanılmıştır.	[25]
Tarihi bina	Belirtilmemiş	175	26-29	İç duvarlar	Energy Plus	Enerji talebi FDM kalınlığının artmasıyla azalmıştır. FDM, tüm soğutma mevsimi boyunca, tüm Akdeniz ülkeleri için aynı verimi göstermemiştir.	[26]
Konut binası	Mikrokapsüllü	70	21.7	Farklı FDM konumları için parametrik analiz	Energy Plus	FDM kullanılarak ısı kazançlarında % 21-32 azalma sağlanmıştır.	[27]
Kübik model	Belirtilmemiş	223	28	Dış duvar	Energy Plus	FDM tüm yıl boyunca % 21-32 aralığında ısı kazanımlarını etkili bir şekilde azaltmıştır.	[28]
Konut binası	BioPCM ve Parafin	200 ve 107.5	23	İç duvar	Energy Plus	İç mekan ve duvar sıcaklığı dalgalanmaları sırasıyla 1.4°C ve 2.7°C azalmıştır. Kış koşullarında ısıtma enerjisi talebi % 57'ye kadar düşmüştür.	[29]
Konut binası	Belirtilmemiş	80	20-22	Dört duvar ve tavanın iç yüzeyi	ESP-r	FDM varlığının oda sıcaklığı üzerinde önemli bir etkisi vardır.	[30]
Konut binası	Mikrokapsüllü	119	26.5	Çatı katı yalıtımı	ESP-r	2-A, 1-A'dan daha düşük bir soğutma yüküne sahiptir. 1-A, % 3.1, 2-A % 5.6 soğutma yükü tasarrufu sağlamıştır.	[31]
Pasif güneş enerjisi binası	Belirtilmemiş	45	21, 24, 27 ve 30	Alçıpan duvar	ESP-r	FDM alçı panellerinde depolanan güneş enerjisinin ısıtma enerjisi ihtiyacını % 90'a kadar azaltmıştır.	[32]
Tek hücreli bina	DalHSM	80	19-20	Belirtilmemiş	ESP-r ve MATLAB	Oda sıcaklığı FDM sıcaklık aralığının dışında olduğunda, hem düzeltici şema hem de ESP-r modeli benzer sonuçlar vermiştir. Faz değişim sıcaklık aralığı içinde, Fourier ve Biot numaralarına bağlı olarak farklılıklar görülmüştür.	[33]
Test odası	Mikrokapsüllü (Micronal PCM)	330	26	Alçıpan duvar	PCM Express	FDM, iç sıcaklığı önemli ölçüde korumuş ve enerji tasarrufu sağlamıştır. Ancak kullanımı tüm durumlar için uygun maliyetli bir çözüm değildir.	[34]

Simülasyon araçlarının kullanılmasının deneysel çalışmalara göre birçok avantajı vardır.

- Simülasyonlar çok büyük ölçeklerde deney yapılması ihtiyacını ortadan kaldırarak, yüksek maliyetler açısından tasarruf sağlamaktadır.
- Gerçek koşullarda yapılan deneyler çok uzun süreceğinden simülasyonla yapılan analizlerde zamandan tasarruf sağlanarak kısa sürede veri almak mümkündür.
- Deneysel çalışmalarda güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı gibi iklimsel faktörleri kontrol etmek zor olabilmekte, bu da sonuçları etkileyebilmektedir.
- Deneylerde ayrıca doğru cihazların kullanılması önemli bir konudur. Kalibrasyonu doğru yapılmayan cihazlar yanlış sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu da profesyonel bir ekip gerektirmektedir.
- Ayrıca FDM'lerin çok karmaşık geometriler ve doğrusal olmayan ara yüzleri gibi sorunlar, çoğu durumda analitik olarak verimli bir şekilde çözülemeyen sorunlara neden olmaktadır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde bir çok araştırmacının en iyi FDM çözümünü bulmak için enerji simülasyon araçlarından yararlandığı görülmektedir. Genel olarak yapılan çalışmalarda simülasyon sonuçlarının doğruluğu kanıtlanmış ve yazılımların güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak, FDM simülasyonundaki histeresiz, aşırı soğutma, doğal konveksiyon ve yaşlanma gibi diğer önemli sorunlar çözülmeyi beklemektedir. Bu sorunların simülasyon programlarına doğru bir şekilde dahil edilmesi gerekmektedir. Yazılım araçlarının en yeni sürümlerinde yenilikler yapılmış ve ilerlemeler kaydedilmiş olsa da hala eksiklikler mevcuttur.

Bilgilendirme

Bu makale 15-16 Ocak 2020 tarihinde İzmir'de gerçekleştirilen "Uluslararası Ege İnovasyon Teknolojileri ve Mühendislik Bilimleri Sempozyumu" adlı kongrede sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Bu çalışma derleme bir makale olup, Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2019.KB.FEN.020 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Yılmazoğlu, M. Z., Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması, *Politeknik Dergisi*, 13,1, 33-42, 2010.
- [2] Konuklu, Y., Paksoy, H., Faz Değiştiren Maddeler ile Binalarda Enerji Verimliliği, 10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 919-930, 2011.
- [3] Konuklu, Y., Ostry, M., Paksoy, H.O., Charvat, P., Review on Using Microencapsulated Phase Change Materials (PCM) in Building Applications, *Energy Build.*, 106, 134–155, 2015.
- [4] Zalba, B., Marin, J. M., Cabeza, L. F., Ve Mehling, H., Review on Thermal Energy Storage With Phase Change Materials, *Heat Transfer Analysis and Applications, Applied Thermal Engineering*, Vol.23, 251-283, 2003.

- [5] Mishra, A., Shukla, A., Sharma, A., Latent Heat Storage Through Phase Change Materials, *Resonance*, 532-541, 2015.
- [6] Casini, M., Smart Materials and Nanotechnology for Energy Retrofit of Historic Buildings, *Journal of Advances in Civil, Structural and Construction Engineering, Csce*, 1, 3, 88-97, 2014.
- [7] Hesaraki, A., Holmberg, S., Haghghat, F., Seasonal Thermal Energy Storage with Heat Pumps and Low Temperatures in Building Projects—A Comparative Review., *Renew Sustain Energy Rev*; 43:1199–213, 2015.
- [8] De Gracia, A., Cabeza, L.F., Phase Change Materials and Thermal Energy Storage for Buildings. *Energy Build.*, 2015.
- [9] Salunkhe, P. B., Shembekar, P. S., A Review on Effect Of Phase Change Material Encapsulation on the Thermal Performance of a System Renew. *Sustain. Energy Rev*; 16, 5603–16, 2012.
- [10] Mahlia T.M.I, Saktisahdan T.J, Jannifar A.,Hasan M.H, Matseelar H.S C., A Review of Available Methods and Development on Energy Storage; *Technology Update. Renew Sustain Energy Rev*; 33:532–45, 2014.
- [11] Cabeza, L.F, Barreneche, C., Martorell, I., Miró, L., Sari-Bey, S., Fois, M., Unconventional Experimental Technologies Available for Phase Change Materials (PCM) Characterization. Part 1. Thermophysical Properties. *Renew Sustain Energy Rev*, 2014.
- [12]Kos'ny, J., PCM-Enhanced Building Components - An Application of Phase Change Materials in Building Envelopes and Internal Structures. Switzerland: Springer International Publishing, 2015.
- [13] Klein, S.A., TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program, 2011. (<http://www.trnsys.com/>)
- [14] Tokuç A., Bina Enerji Benzetim Araçları Ve Seçim Ölçütleri, *Dokuz Eylül Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5,3, 2009.
- [15] Li, G., Energy and Exergy Performance Assessments for Latent Heat Thermal Energy Storage Systems. *Renew Sustain Energy Rev*; 51, 926–54, 2015.
- [16] Kelly N.J., Towards A Design Environment for Building-Integrated Energy Systems: The Integration of Electrical Power Flow Modelling with Building Simulation, Phd Thesis, Glasgow: University of Strathclyde, UK, 1998.
- [17] Orhon, A. V., Altın, M., Mimari Sürdürülebilirlik için Bir Değerlendirme Aracı Olarak Benzetim, *Tesisat Mühendisliği*, 158, 5-13, 2017.
- [18] Ellis, P.G., Torcellini, P.A., Crawley, D.B., Simulation of Energy Management Systems in Energyplus. *Build Simul* 2007,1346–53, 2007.
- [19] Crawley, B.D.B., Lawrie, L.K., Energyplus: Energy Simulation Program. *ASHRAE*, 42,49–56, 2000.
- [20] Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M., Griffith, B.T., Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs. *Build. Environ.* 43,661–73, 2008.
- [21] Zöller, A., Jung, M., Schmidt, M., Brenner, T., Gatzka, B., Schossig, P., Haussmann, T. Abschlussbericht Zum Verbundforschungsvorhaben, Aktive Latentspeichersysteme Für Gebäude. Fraunhofer ISE, Gemeinsamer Bericht Aller Projektteilnehmer In Den Teilprojekten 0327370G-K, 0327370S, 2008.
- [22] Schranzhofer, H., Puschnig, P., Heinz, A., Streicher, W., Validation of a TRNSYS Simulation Model for PCM Energy Storages and PCM Wall Construction Elements. In: *Proceedings of ECOSTOCK 2006—10th International Conference on Thermal Energy Storage*. Pomona, NJ, 2006.
- [23] Al-Saadi, S.N., Zhai, Z., Modeling Phase Change Materials Embedded in Building Enclosure: A Review. *Renew Sustain Energy Rev*, 21, 659–73, 2013.

- [24] Plytaria, M. T., Tzivanidis, C., Bellos, E., Alexopoulos, I., and Antonopoulos, K. A., Thermal Behavior of a Building with Incorporated Phase Change Materials in the South and The North Wall, *Computation*, 7,2, 2019.
- [25] Borderon, J., Virgone, J., and Cantin, R. (2015). Modeling and Simulation of a Phase Change Material System for Improving Summer Comfort in Domestic Residence. *Applied Energy*, 140, 288–296.
- [26] Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R.F., De' Rossi, F., Vanoli, G.P., Energy Refurbishment of Existing Buildings Through the Use of Phase Change Materials: Energy Savings and Indoor Comfort in The Cooling Season. *Appl Energy*, 113,990–1007,2014.
- [27] Chan, A.L.S., Energy and Environmental Performance of Building Facades Integrated with Phase Change Material in Subtropical Hong Kong. *Energy Build.*, 43,2947-55, 2011.
- [28] Lei, J., Yang, J., Yang, E-H., Energy Performance of Building Envelopes Integrated with Phase Change Materials for Cooling Load Reduction in Tropical Singapore. *Appl. Energy*;162,207-17, 2016.
- [29] Nghaana, B., Tariku, F., Phase Change Material's (PCM) Impacts on the Energy Performance and Thermal Comfort of Buildings in a Mild Climate. *Building and Environment*, 2016
- [30] Almeida, F., Zhang, D., Fung, A.S., Leong W. H., Investigation of Multilayered Phase-Change-Material Modeling in ESP-R, International High Performance Buildings Conference, 2010.
- [31] Košny, J., Fallahi, A., Shukla, N., Kossecka, E., Ahbari, R., Thermal Load Mitigation and Passive Cooling in Residential Attics Containing PCM-Enhanced Insulations. *Sol Energy* 108,164-177, 2014.
- [32] Heim, D., Clarke, J.A., Numerical Modeling and Thermal Simulation of PCM–Gypsum Composites with ESP-R. *Energy Build* 36,795-805, 2004.
- [33] Almeida, F., Zhang, D., Fung, A.S., Leong W. H., Comparison of Corrective Phase Change Material Algorithm With Esp-R Simulation, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November, 2011.
- [34] Rodríguez -Ubiñas, E., Cronemberger, J., Vega Sánchez, S. and García-Santos, A. Performance of Passive Application of Pcm in Spain, *Researchgate*, 2010.



EVALUATION OF THE ENERGY PERFORMANCE OF TRADITIONAL HARPUT HOUSES: ŞEFİK GÜL HOUSE SAMPLE

Sevilay Özdemir^{*1}, Betül Bektaş Ekici¹

¹Department of Architecture, Faculty of Architecture, Fırat University, Elazığ, Turkey

Abstract

Original scientific paper

The amount of energy used in buildings has a significant share in total energy consumption both in our country and globally. Considering the use of exhaustible energy resources, environmental pollution resulting from this use, and economic factors necessitates an energy-efficient architectural design at the point of ensuring comfort conditions. Energy efficient building design aims to provide energy conservation by using parameters such as environmental climate, direction, prevailing wind, and increasing the performance of buildings in heating-cooling-ventilation and natural lighting by using active / passive methods.

Traditional buildings provide the desired comfort levels with passive design methods without the need for comprehensive heating, cooling, lighting, etc. system support. This study aims to reveal experiences that can be a reference to new building designs through a traditional building example in order to provide comfort conditions in terms of architecture. For this purpose, a simulation study on the Harput Şefik Gül House, whose comfort conditions were not examined before were carried out with the Design Builder software, and its annual heating, cooling and lighting loads were determined. By discussing the energy requirements calculated for different orientation situations of the building, the comfort range duration of the different spaces during the year has been determined.

Keywords: Energy efficiency, Comfort conditions, Design Builder, Şefik Gül House, Traditional architecture

GELENEKSEL HARPUT EVLERİNİN ENERJİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ: ŞEFİK GÜL EVİ ÖRNEĞİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Binalarda kullanılan enerji miktarı hem ülkemiz hem de küresel ölçekte toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Bu durum tükenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bu kullanım sonucu oluşan çevresel kirlilik ve ekonomik faktörler de dikkate alındığında konfor koşullarının sağlanması noktasında enerji etkin bir mimari tasarımı zorunlu kılmaktadır. Enerji etkin yapı tasarımı çevresel iklim, yön, hakim rüzgar vb parametrelerden yararlanıp aktif/ pasif yöntemler kullanarak ısıtma-soğutma-havalandırma ve doğal aydınlatma konularında yapı performansını artırarak enerji korunumu sağlamayı hedeflemektedir.

Geleneksel binalar bugünkü gibi kapsamlı ısıtma, soğutma, aydınlatma vb sistem desteğine ihtiyaç duymadan pasif tasarım yöntemleriyle istenilen konfor seviyelerini sağlamaktadırlar. Bu çalışma mimari açıdan konfor koşullarının sağlanması için geleneksel bir yapı örneği üzerinden yeni bina tasarımlarına referans olabilecek deneyimleri ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu amaçla Design Builder yazılımı ile daha önce konfor koşulları incelenmemiş Harput Şefik Gül Evi'nin simülasyon yolu yıllık ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri belirlenmiştir. Binaların farklı yönelme durumları için hesaplanan enerji gereksinimleri tartışılarak, farklı mahallerin yıl içerisinde konfor aralığında kalma süreleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkinliği, Konfor koşulları, Design Builder, Şefik Gül Evi, Geleneksel mimari

1 Giriş

İnsanlığın ilk zamanlarından itibaren mevcut olan yerleşme ihtiyacının temelini inildiğinde, çevrenin zorlayan iklim koşullarından korunma gereksinimi vardır. Bu gereksinim doğrultusunda yerleşim yerlerinin belirlenmesindeki ana prensip güneş, su, hava gibi çevresel öğelerden uygun miktarda yararlanmak olmuştur. Böylelikle yılın her döneminde konfor koşullarının sağlanması hedeflenmiştir. Bu hedef ışığında da gün geçtikçe şekillenen tasarımlar, buldukları yere ait tasarım kriterlerini belirlemeye başlamıştır. Geleneksel konutlar, yer aldıkları bölgenin iklimsel durumuna ve arsa koşullarına uygun olarak doğru malzeme seçimiyle inşa

edilmiş, yine mekân organizasyonları ve yönelme durumları da bu doğrultuda sağlanmıştır. Günümüzde; yeniden doğaya saygılı, onunla uyum içinde, iklim verilerini doğru değerlendiren ve kullanan yapılar gerçekleştirmeye çalışırken, yüzyıllarca deneyimlenerek oluşturulan bu yapılaşmadan alınması gereken dersler olduğu açıktır [1,2].

Geleneksel konutlarda enerji etkinliği konusunda Türkiye ve dünyada birçok çalışma mevcuttur. Bu konuda yapılan çalışmaların ortaya çıkmasında binalarda enerji tüketimini, çevre kirliliği ve aktif enerji kullanımını azaltacak çözüm önerileri geliştirmek etkili olmuştur. Konu ile ilgili olarak Akfidan [3], çalışmasında Bolu Gülezler Konağı'nın rekonstrüksiyon öncesinde ve

* Corresponding author.

E-mail address: ozdmr.sevilay@gmail.com (S. Özdemir) | ORCID Number : 0000-0003-1825-5696

Received 27 September 2020; Received in revised form 30 November 2020; Accepted 01 December 2020

sonrasında ısıtma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım parametrelerini belirleyerek ısıtma yükünü Design Builder simülasyon programında hesaplamıştır. Daha sonra ısıtma yüküne bağlı olarak CO₂ salımını ve harcanan yakıt miktarlarını hesaplayarak alternatif senaryolar geliştirmiştir. En az ısıtma yükü sonucunu veren alternatife göre, ısıtma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım parametrelerinden iklime duyarlı malzeme seçimiyle ısıtma yükünün ve buna bağlı olarak CO₂ salımları ve harcanan yakıt miktarlarının en aza indirilmesi açısından geleneksel binalarda yapılacak yenileme çalışmalarının gelecekte yapılacak çalışmalara örnek olacağını vurgulamıştır. Temur [4], ele aldığı Edirne geleneksel mimari yapısına sahip 3 farklı konut binasının Ecotect simülasyon programıyla ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi hesaplarını yaparak bu binaların ısı analizlerini karşılaştırmıştır. Çıkan sonuçlar doğrultusunda geleneksel mimaride enerji verimliliğinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Ulukavak Harputlugil ve Çetintürk [1], Safranbolu Hacı Hüseyinler Evi'nin ısı konfor koşulları Ecotect V5.20 programında analiz ederek buldukları iklim bölgelerinin özelliklerine ve arsa koşullarına uygun malzeme seçimi ve mekân organizasyonu ile inşa edilen geleneksel yapıların bu deneyimlerinden yola çıkarak yeni inşa edilecek yapılara örnek teşkil edebileceğini ortaya koymuştur. Erdemir [5], Geleneksel Diyarbakır Evleri'nin tasarım parametrelerinden yola çıkarak sıcak-kuru iklim bölgelerinde yer alan konutlarda enerji korunumunun yerleşme dokusu ve bina formu ile etkileşimini araştırdığı çalışmasını Design Builder programıyla gerçekleştirmiştir. Geleneksel konutların gösterdiği enerji performansına göre gelecekte yapılacak binaların tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken durumları belirleyerek sıcak-kuru iklim bölgelerinde yeni yapılacak binalarda enerji tüketiminin azaltılması açısından bir referans oluşturmuştur. Mousli ve Semprini [2], Şam kentindeki bazı geleneksel binaların ısı konfor analizini yaptıkları çalışmada farklı tasarım kriterlerinin, malzeme özelliklerinin ve yerleşim durumunun ısı konforu ne derece etkilediğini belirlemiştir. Mohammadzadeh ve diğerleri [6], İran yerel mimarisine sahip binalar ile modern binaları aynı iklim koşullarında simüle ederek performans karşılaştırması üzerine kurguladıkları çalışmalarında, yerel mimari tarzında yapılan binaların enerji tüketiminin ileri teknoloji kullanılarak yapılan binalara göre daha az olduğunu vurgulamışlardır. Pallaska ve diğerleri [7], Kosova'da geleneksel konutların yenilenmesi ve restorasyonu, mahalle oluşturmada mekânın rasyonel kullanımı, diğer mahallelerle bağlantı, erişilebilirlik, kentin havalandırılmasının sürdürülebilir kentsel kalkınmanın bir parçası olup olamayacağı konusunda yapmış oldukları çalışmada, geleneksel konutlarda enerji verimliliğini artırarak Kosova/Prizren şehrinin, ekonomik, sosyal ve fiziksel/çevresel açıdan sürdürülebilir bir çözüme kavuşacağını belirtmişlerdir. Yıldız ve Manioğlu [8], Kıbrıs, Samanbahçe'de geleneksel malzemeler ve inşaat metodu kullanılarak yapılan bir konut örneğinde sürdürülebilir enerji verimliliği üzerine yapmış oldukları çalışmada, bina formunun bir bileşeni olan avlunun, konutların iklimle dengeli ve sürdürülebilir niteliklerinin korunması açısından önemini vurgulamışlardır.

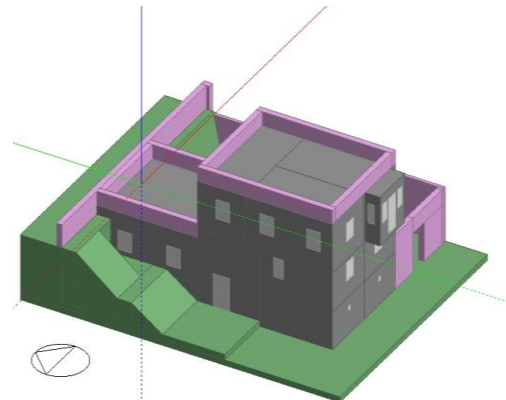
Enerjinin etkin kullanımı, yakıt tasarrufu ve çevresel kaygıların yapı tasarımında önemli kriterler olduğu günümüzde yüzyıllık deneyimlerden yola çıkılarak oluşturulan geleneksel bir mimari anlayıştan alınacak çok ders olduğu açıktır. Bu çalışmanın Elazığ/Harput yöresinde geleneksel yapılarla ilgili simülasyon tabanlı başka bir çalışmanın olmaması nedeniyle öncü bir çalışma olması ve bölgede gerçekleştirilecek tasarımlara da yol göstermesi amaçlanmaktadır. Çalışmada dinamik bir simülasyon programı olan Design Builder yazılımı kullanılarak Harput Şefik Gül Kültür Evi'ne ait ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinden yola çıkarak yapı genelinde pasif sistemler aracılığı ile elde edilen faydaların tespiti ile bunlar üzerinde etkili olan mimari tasarım parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

2 Şefik Gül Kültür Evi Özellikleri

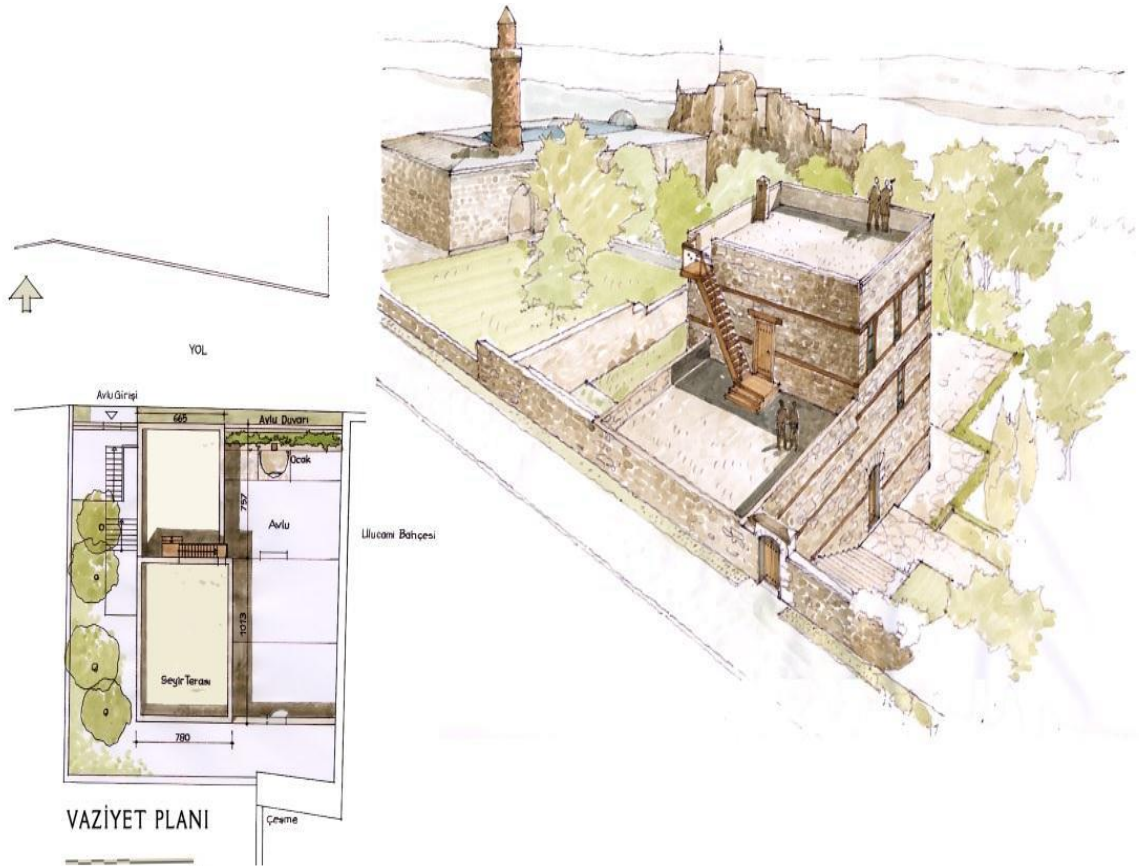
Tez çalışması kapsamında ele alınan Şefik Gül Kültür Evi Harput Mahallesi, Nizamettin Caddesi No:36 da konumlanmaktadır. Henüz tescillenmeyen ev, Harput Kentsel Sit Alanı içerisinde bulunmaktadır. Ayrık yapı nizamına sahip Şefik Gül Kültür Evi, oldukça eğimli bir arazi üzerinde üç katlı olarak inşa edilmiştir. Evin girişi batıda konumlanmış olup avlu kısmından sağlanmaktadır. Şefik Gül Kültür Evi'nin doğusunda Harput Ulu Camii'nin avlusu, batısında ve güneyinde başka parseller, kuzeyinde ise Nizamettin Caddesi yer almaktadır. Ev toplam 201.87 m² dir. Evin avlusunda bir adet çeşme, batısında bir adet su kuyusu, kuzeydoğusunda ise ocak ve tandır bulunmaktadır. Şekil 1'de evin vaziyet planı ve arazideki yerleşimi gösterilmiştir.

3 Metot

Şefik Gül Kültür Evi'nin enerji performans analizi için Design Builder simülasyon programı kullanılmıştır. Kullanıcı dostu ara yüzü sayesinde tüm binalarda modelleme yapılabilen bu program ile ısıtma, soğutma, aydınlatma vb. yüklerin hesaplamaları yapılabilmektedir. Ayrıca doğal havalandırma, CO₂ salımı, gün ışığı analizleri de gerçekleştirilebilmektedir. Program enerji analizlerinin tamamını EnergyPlus altyapısını kullanarak, günışığı analizlerini Radiance aydınlatma simülasyon aracının altyapısını kullanarak sağlamaktadır [10]. Şefik Gül Kültür Evi röleve çizimleri kullanılarak Design Builder Programında oluşturulan ve Şekil 2'de görülen üç boyutlu model elde edilmiştir.



Şekil 2. Şefik Gül Kültür Evi üç boyutlu modeli



Şekil 1. Harput Şefik Gül Kültür Evi vaziyet planı ve arazi yerleşimi [9]

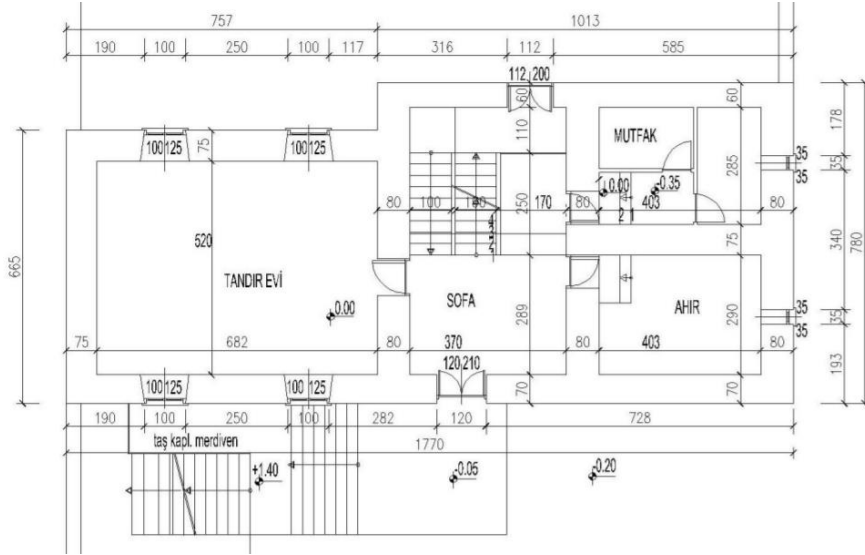
Üç boyutlu modeli hazırlanan binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin hesaplanabilmesi için Design Builder programına;

- binanın konumu,
- binanın içinde bulunduğu iklim bölgesi,
- binanın fonksiyonu,
- iç mekânda oluşması istenen ısısal konfor koşulları,
- yapı elemanlarında kullanılan malzemeler ve fiziksel özellikleri,
- tercih edilen ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri
- bina kabuğu saydam ve opak alanlarında ve kapılarda kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri,
- hacimleri kullanan kişi sayısı,
- hacim içinde kullanılan ekipman bilgilerinin girilmesi gerekmektedir [10].

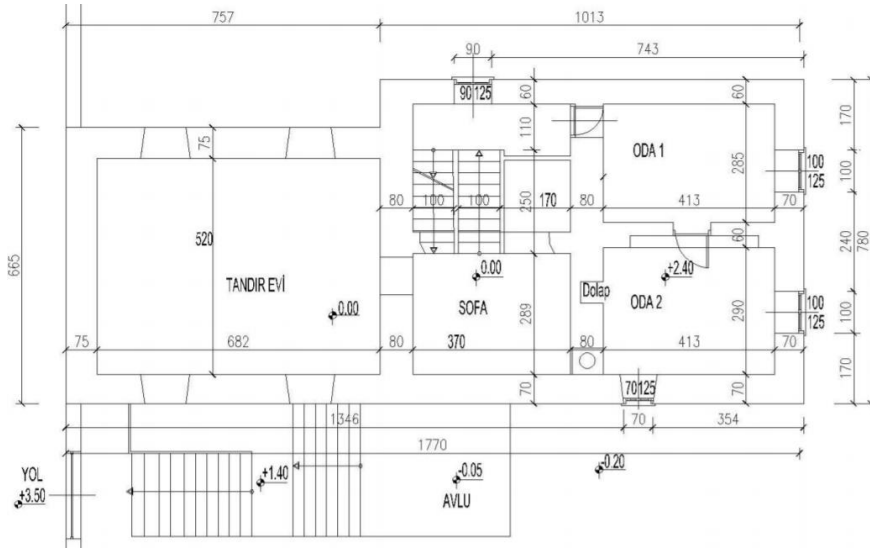
Elazığ iline ait iklim verileri için Meteonorm programı ile Dünya Meteoroloji Birliği'nden (WMO) alınan ve uzun yılların ortalama hesaplamalarına dayanan veri paketi kullanılmıştır. Bu veriler Design Builder programının Weather File dosyasına aktarılarak simülasyonlarda kullanılmaya uygun hale getirilmiştir. Şefik Gül Kültür Evi konumu, iklim verileri ve fonksiyona ait bilgiler daha sonra binaya ait mekânların kullanım

durumlarına göre 10 ana zona ayrılmıştır. Bu aşamadan sonra her bir zona ait kullanım saatleri, mekânsal sıcaklıkları, kullanılan malzemeler ve fiziksel özellikleri, kullanıcı sayıları, ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri gibi veriler programa girilmiştir. İki kat yüksekliğinde olan Tandır evi tek bir zon olarak tanımlanmıştır. Günümüzde Geleneksel Harput Odası olarak kullanılan Oda 3'te çıkma şeklinde yer alan Cumba bölümü de ayrı bir zon olarak kabul edilmiştir. Zemin, ara ve 1. katta yer alan sofalarda zemin kat ve ara kat sofaları tek bir zon olarak tanımlanırken 1. katta yer alan sofa ayrı bir zon olarak tanımlanmıştır. Katlara ait planlar Şekil 3-5'te verilmiştir.

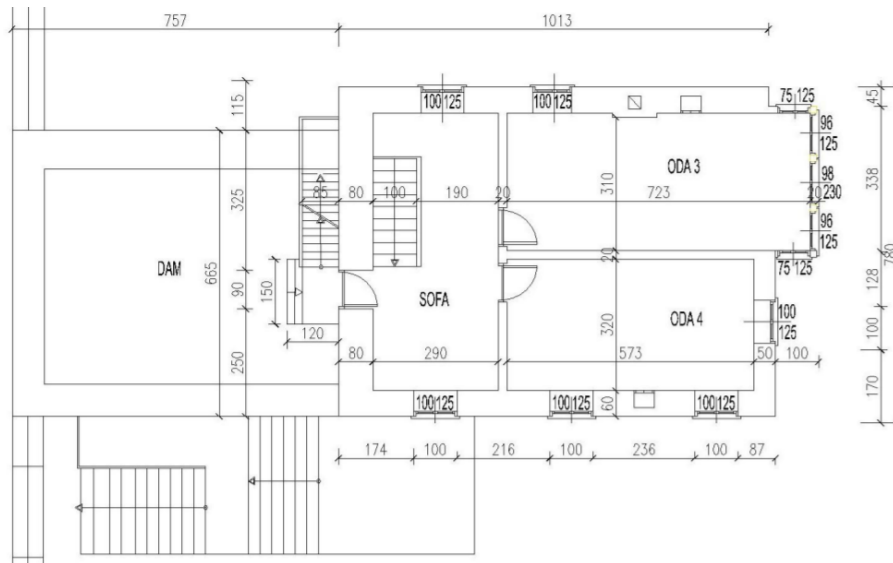
Zonlara ayırma işlemiyle her bir zonun kullanım şekli, metrekare başına düşen insan sayısı, iç ortam sıcaklıkları, mekânda yer alan ekipmanlardan ortaya çıkan ısı miktarı vb. özellikler farklılık göstereceğinden modellenecek binada bu değerler ayrı ayrı tanımlanmıştır. Design Builder programının 5 bölümden oluşan verileştirme işleminde aktivitelere, yapı malzemelerine, pencerelere, aydınlatmaya, ısıtma-soğutma, havalandırma ve iklimlendirmeye (HVAC) dair başlıklar yer almaktadır. Bu başlıklar çerçevesinde modellenen binanın verileri detaylandırılmıştır.



Şekil 3. Zemin Kat Planı [9]



Şekil 4. Ara kat planı [9]



Şekil 5. 1. Kat Planı [9]

3.1 Çalışma Kapsamında Kullanılan Kabuller

Hesaplamalar yapılırken evin etrafını çevreleyen bahçe duvarlarından gölge faktörleri etkili olmaktadır. Soğutma işlemi için elektrikli klima sistemi, ısıtma işlemi için doğalgaz kullanıldığı düşünülerek bu doğrultuda hesaplamalar yapılmıştır. TS 2164/T2 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları [11] Çizelge 2- Kalorifer Tesisatı Projelendirme Esas Mahal İç Hava (Standart) Sıcaklıklarına göre kış aylarında mekânların ısıtma sıcaklıkları belirlenmiş ve bu değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Yapı bileşenlerinde kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin termofiziksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Isı geçirgenlik katsayıları (U değeri) belirlenirken Design Builder Programında tanımlı malzeme özellikleri ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı [12] Ek-E kaynak alınmıştır.

Bina yapımında kullanılan malzemelerin program kütüphanesinde olmadığı durumlarda ya yeni malzeme

Tablo 1. Mahallerin Alanları ve Isıtma-Soğutma Sıcaklıkları

	Mahal Adı	Alan (m ²)	Isıtma Sıcaklığı (°C)	Soğutma Sıcaklığı (°C)
Zemin kat	Tandır Evi	35.46	22	26
	Sofa	24.01	15	26
	Mutfak	11.49	20	26
Ara kat	Ahır	11.69	15	26
	Tandır Evi	35.46	22	26
	Sofa	24.01	15	26
	Oda 1	11.77	22	26
1. Kat	Oda 2	11.98	20	26
	1. kat Sofa	19.14	15	26
	Oda 3 & Cumba	22.53	22	26
	Oda 4	18.34	20	26
	Toprak dam	35.46	-	26
Toplam	201.87 m ²			

tanımı yapılarak her bir malzeme için program içerisinde U değerleri hesaplanmış ya da o malzemelere yakın U değerlerine sahip malzemeler seçilmiştir.

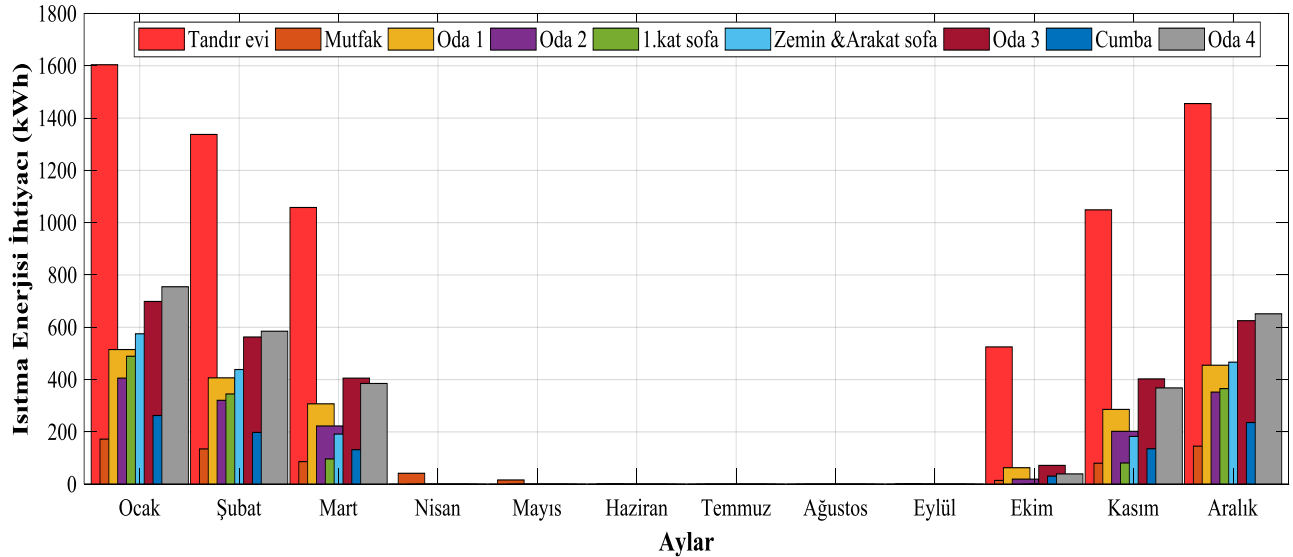
Tablo 2. Yapı bileşenlerinde kullanılan yapı malzemeleri ve termofiziksel özellikleri

Yapı Bileşeni	Malzeme Adı	Kalınlık (cm)	Yoğunluk (kg/m ³)	U değeri (W/m ² K)
Duvar	Dış kaba yonu taş kaplama	10	2880	1.26
	Kireç harcı bağlayıcı madde	3	1600	
	Dolgu moloz taş	49	1600	
	İç kaba yonu taş kaplama	5	2880	
	Saman takviyeli elenmiş çamur sıva	2	1200	
	Kireç sıva	1	1680	
Taş döşeme	Toprak dolgu	10	1460	2.143
	Sal taşı	10	2200	
	İnce kum	10	2200	
	Betonarme döşeme	12	2400	
Seramik döşeme	Seramik kaplama	5	1700	3.057
	Betonarme döşeme	10	2400	
Ahşap kaplama döşeme	Ahşap kaplama	2	700	0.538
	Mertek	5	700	
	Ahşap Kiriş	20	700	
Tavan (çatı)	İnce taş kaplama	5	2200	0.298
	Sıkıştırılmış toprak	30	1460	
	Yalıtım	2	100	
	Tahta kaplama	15	700	
	Mertek	5	700	
	Cisir (ahşap kiriş)	20	700	
Pencereler	Ahşap doğramalı tek camlı			4.975
Dış kapılar	Ahşap			2.381

4 BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Binanın konumu, iklim verileri, fonksiyonu, kullanıcı sayısı, konfor koşulları, yapı malzemeleri, ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri programa tanımlandıktan sonra öncelikle Şefik Gül Kültür Evi’ne ait her bir zon için Design Builder simülasyon programında 1 Ocak tarihinden 31 Aralık tarihine kadar geçen 1 yıllık süre için (365 gün) zonlara ait aylık ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükü hesabı yapılmış daha sonra toplam enerji yükleri belirlenmiştir. Şefik Gül Kültür Evi’nin aylık

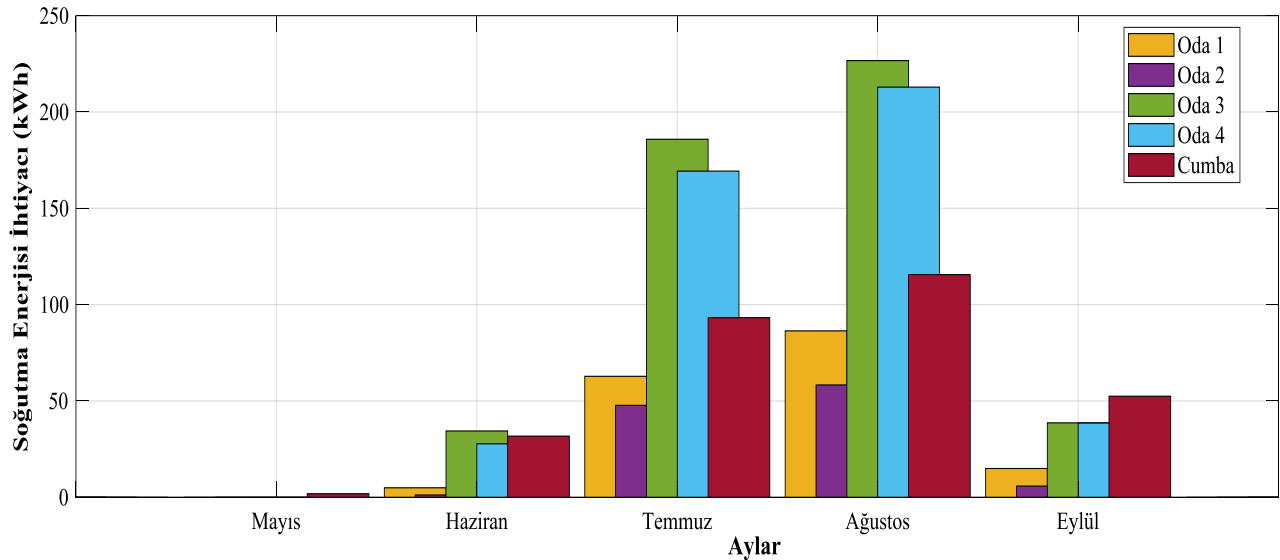
ısıtma yükü grafiği incelendiğinde binanın toplam 21166.15 kWh ısıtma enerjisine ihtiyacı olduğu ve en fazla ısıtma yükünün sırasıyla tandır evinde 7029.10 kWh, Oda 4’te 2784.24 kWh ve Oda 3’te 2766.99 kWh olduğu görülmektedir. Tandır evinde ısıtma yükünün en yüksek değere sahip olmasının sebebi kuzeydoğu-kuzeybatı cepheli olmasıyla güneş ışınımından yeterli miktarda yararlanamaması ve cephe açıklığının fazla olmasından dolayı iletim ve havalandırma yolu ile ısı kaybının artması şeklinde sıralanabilir.



Şekil 6. Farklı zonlara ait aylık ısıtma yükü değerleri

Ayrıca toprağa oturan taş döşeme üzerinde yer aldığından ve üzerinde başka hacim bulunmamasından ötürü tavan ve tabandan ısı kayıpları söz konusudur. Oda 4 ve Oda 3 aynı katta ve yakın büyüklüklere sahip olmasına rağmen ısıtma yüklerinin farklı çıkması Oda 3'ün güneye bakan pencere açıklığının ve dolayısıyla güneş ısı kazancının Oda 4'ten fazla olmasıyla açıklanabilir. En az ısıtma yükleri ise güney cephede yer alan ve taban alanı olarak diğer mekânlardan daha küçük olan ahırda 63.38 kWh ve

Cumba'da 994.36 kWh görülmektedir. Genel olarak ısıtmanın istenmediği yaz döneminde mekanların ısıtma yükleri sıfır ve sıfıra yakın değerler çıkmıştır. En yüksek ısıtma enerjisi ihtiyaçları ise Aralık, Ocak ve Şubat aylarında görülmektedir. Zonlara ait aylık soğutma yükü grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Soğutma ihtiyacının olmadığı zonlar aylık soğutma yükü grafiğinde gösterilmemiştir.



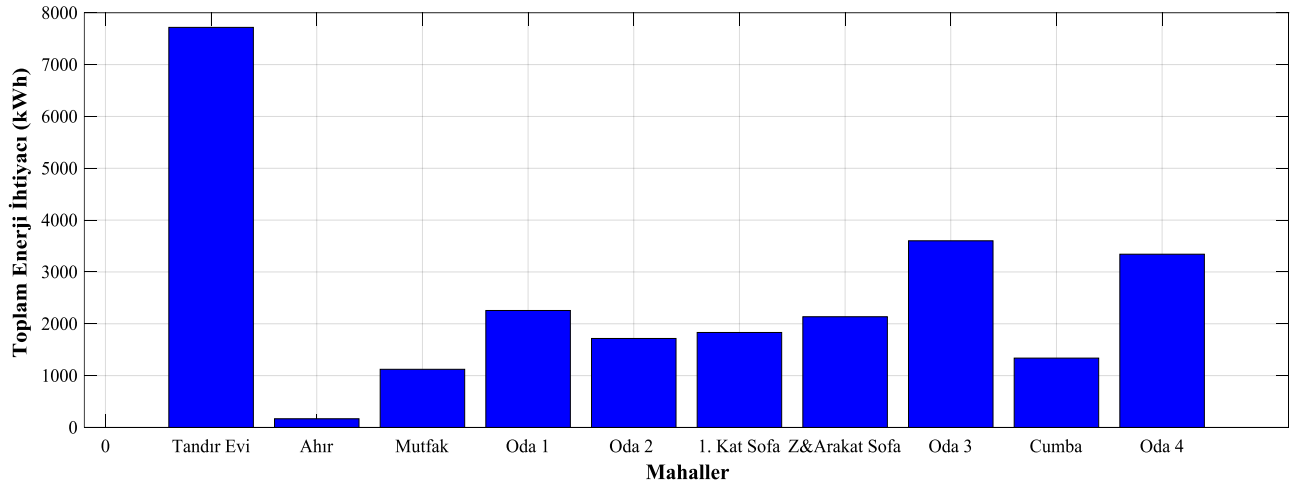
Şekil 7. Farklı zonlara ait aylık soğutma yükü değerleri

Zonlara ait yıllık toplam soğutma yükü grafiği incelendiğinde binanın Nisan- Eylül döneminde toplam 1511.43 kWh soğutma enerjisine ihtiyacı olduğu ve bu miktarın % 32 oranında Oda 3'ten, % 30 oranında oda 4'ten kaynaklandığı görülmektedir. En fazla soğutma yükünün görüldüğü bu iki odanın güney cepheli olmaları sebebiyle özellikle yaz döneminde pencerelerden solar kazancı yüksektir. Soğutma yükü değeri Oda 3'te 485.56 kWh, Oda 4'te 448.50 kWh'dir. Tandır evinde en az soğutma yükünün görülmesinin sebebi yüzey alanının büyük bir kısmının toprak altında olmasıdır. Aydınlatma simülasyonu sonuçlarının verildiği Tablo 3.

incelendiğinde, en az aydınlatma yükünün en az alana sahip ve üç kenarı pencerelerle çevrili olan cumbada 48.61 kWh en fazla aydınlatma yükünün ise en fazla alana sahip olan ve duvarlarının bir bölümü toprak altında olan tandır evinde 688.40 kWh olduğu görülmektedir. Yıllık toplam aydınlatma yükünün 2599.96 kWh olduğu ve bu miktarın % 26 oranında tandır evinden, % 4 oranında ahırdan, % 17 oranında mutfaktan, % 2 oranında Oda 1'den, % 3 oranında Oda 2'den, % 17.5 oranında 1. kat sofadan, % 10.8 oranında zemin ve ara kat sofadan, % 13.41 oranında Oda 3'ten, % 1.87 oranında cumbadan ve % 4.2 oranında Oda 4'ten kaynaklandığı görülmektedir.

Tablo 3. Mekânların aydınlatma güçleri ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçları

Mekânlar	Aydınlatma gücü (W/m ²)	Aydınlanan Alan (m ²)	Net	Toplam Güç (W)	Tarifeli Saatler (saat)	Tüketim (kWh)
Tandır evi	7.5	31.43		235.75	56	688.40
Ahr	2.5	11.42		28.55	70	104.19
Mutfak	15	11.22		168.30	49	430.01
Oda 1	3.3	11.87		39.18	26.60	54.35
Oda 2	5	11.67		58.34	26.60	80.91
Zemin ve ara kat sofa	5	14.52		72.60	74.03	280.82
1. kat sofa	5	23.52		117.60	74.03	454.87
Oda 3	7.5	15.92		119.39	56	348.61
Cumba	7.5	2.22		16.65	56	48.61
Oda 4	5	15.75		78.73	26	109.21

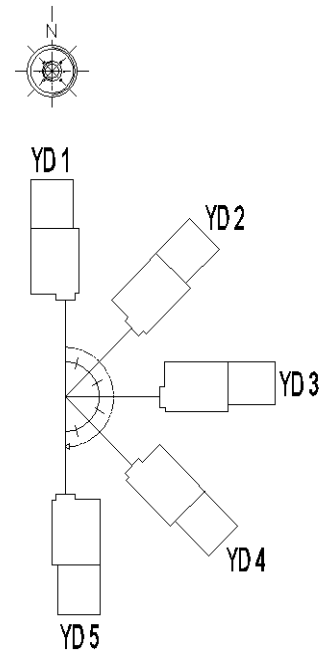
**Şekil 8.** Yıllık toplam enerji yükü grafiği

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2001 Türkiye raporunda, enerji tüketiminin azaltılabilmesine yönelik öneriler içerisinde, binaların m² başına tükettikleri enerjinin ortalama 250 kWh'den, 100-150 kWh civarına çekilmesi gerekliliği yer almaktadır [13]. Şefik Gül Evi'nin, 125.21 kWh/m² olan yıllık enerji tüketimi ile bu amaca ulaşmış olduğu görülmektedir.

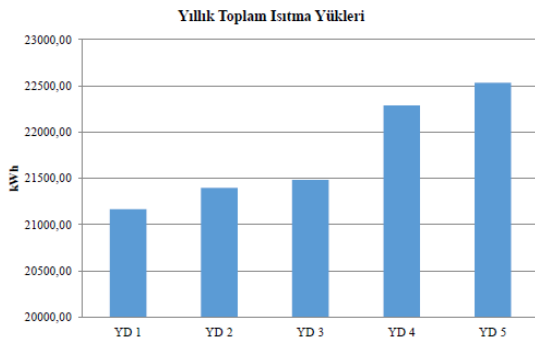
4.1 Bina Yönlendirme Durumunun Enerji Yüklerine Etkisi

Çalışmanın bu bölümünde binalarda enerji tüketiminin azaltılmasında etkili olan tasarım parametrelerinden biri olan bina yönlendirilme durumunun enerji tüketimine etkisinin değerlendirilmesi adına mevcut bina yönlendirilmesinin alternatif yönlendirmelere göre enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda ve mevcut binanın üzerinde yer aldığı eğim göz önünde bulundurularak ele alınan mevcut bina yönlendirilme durumu ve binanın saat yönünde 45°, 90°, 135° ve 180° döndürülmesiyle oluşan dört farklı yönlendirilme alternatifleri için simülasyon programı aracılığı ile hesaplanan ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri sayısal karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilmiştir. Şekil 9'da bina yönlendirilme durumuna bağlı olarak oluşturulan (YD1: binanın mevcut yönlendirilme durumu, YD2: binanın saat yönünde 45° döndürülmesiyle oluşan yönlendirilme durumu, YD3: binanın saat yönünde 90° döndürülmesiyle oluşan yönlendirilme durumu, YD 4:

Mevcut binanın saat yönünde 135° döndürülmesiyle oluşan yönlendirilme durumu, YD 5: Mevcut binanın saat yönünde 180° döndürülmesiyle oluşan yönlendirilme durumu) alternatifleri gösterilmektedir.

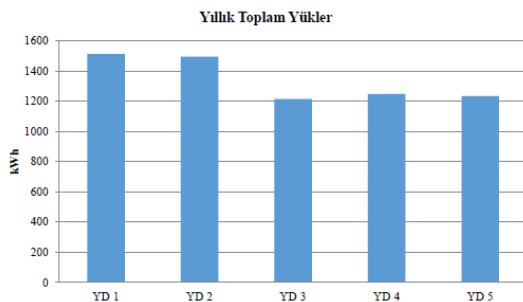
**Şekil 9.** Bina yönlendirilme durumu alternatifleri

Şekil 10'da ele alınan mevcut bina yönlendirilme durumu değiştirilerek elde edilen alternatifleri için yıllık toplam ısıtma yüklerinin karşılaştırmalı sonuçları verilmektedir. Yönlendirilme durumu alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma yükleri karşılaştırıldığında en düşük ısıtma yükünü sağlayan durum mevcut bina yönlendirilme durumu olan YD 1, en yüksek ısıtma yükünü sağlayan durum ise mevcut binanın 180° döndürülmesiyle oluşan bina yönlendirilme durumu olan YD 5'tir. Bunun başlıca nedeni kış aylarında güneş ısı kazancı sağlayarak ısıtma enerjisi ihtiyacı miktarını azaltacak olan büyük camlı yüzeylerin YD1'de güney yönüne, YD5'te ise tamamen ısı kayıplarına sebebiyet verecek şekilde kuzey yönüne yönlendirilmesidir. Güney yönüne bakan bu yüzeyin güneybatı, batı, kuzeybatı ve kuzey yönlerine yönlendirilmesi durumlarında binanın ilk durumuna göre ısıtma enerjisi ihtiyacında sırasıyla % 1.1, % 1.5, % 5.3, ve % 6.5 oranında artış olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Yönlendirilme durumlarına göre yıllık toplam ısıtma yükü grafiği

Yönlendirilme durumu alternatiflerinin yıllık toplam soğutma yükleri karşılaştırıldığında en düşük soğutma yükünü sağlayan durum mevcut binanın 90° döndürülmesiyle oluşan bina yönlendirilme durumu olan YD 3, en yüksek soğutma yüküne neden olan durum ise mevcut bina yönlendirilme durumu olan YD 1'dir (Şekil 11). Bunun başlıca nedeni güney yönündeki pencere sayısı ve alanı diğer yönlerdeki pencerelere göre daha fazla olmasıdır. Özellikle yaz aylarında pencerelerden gerçekleşen ısı kazanım oranı daha fazla olmakta, bu durum da güneye bakan yüzeylerdeki pencere sayısı ve alanı fazla olan odalarda (oda 3, cumba ve oda 4) soğutma yükünün yüksek olmasına neden olmaktadır. Güney yönüne bakan bu yüzeyin güneybatı, batı, kuzeybatı ve kuzey yönlerine yönlendirilmesi durumlarında binanın ilk durumuna göre soğutma enerjisi ihtiyacında sırasıyla % 1.19, % 19, % 17.47 ve % 18.46 oranında azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Yönlendirilme durumlarına göre yıllık toplam ısıtma yükü grafiği

4.2 Mekânların Yıllık Konfor Sıcaklıklarının Belirlenmesi

Çalışmada Şefik Gül Kültür Evi'nin farklı mekanlarına ait saatlik sıcaklık değerleri belirlenerek bu mekanların yıl içerisinde konfor aralığında bulunma süreleri tespit edilmiştir. Ancak Design Builder programı ile elde edilen simülasyon sonuçları mekanlara ait saatlik sıcaklık değerlerini vermemektedir. Bu amaçla Design Builder programından elde edilen sonuçlar ve Elazığ İline ait iklim verileri Energy Plus 8.2 yazılımına aktarıldıktan sonra dış sıcaklık değişimlerine bağlı olarak evin saatlik iç mekân sıcaklıkları tespit edilmiştir. Şefik Gül Evi'nin mekânlarının dış hava sıcaklıklarına göre 8760 saat için elde edilen konfor sıcaklıklarından yola çıkarak hesaplanan aylık ortalama saatlik iç ortam konfor sıcaklıkları hesaplanmıştır. ASHRAE (Handbook of Fundamentals 2001)'de yer alan ve mekân konfor sıcaklık sınırları olarak belirlenen 18°C ile 26°C arasındaki sıcaklık değerlerine göre mekânların yıl içinde konfor sıcaklık aralığında kalma süreleri ve oranları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Şefik Gül Evi farklı mahallerinin konfor sıcaklığında kalma süreleri ve oranları

Mahal Adı	Konfor aralığında Kalma Süresi (gün)	Konfor aralığında kalma Oranı (%)
Tandır Evi	7964	90.91
Ahır	4581	52.29
Mutfak	6540	74.65
Zemin ve Arakat sofa	2095	23.91
Oda 1	7878	89.93
Oda 2	7676	87.62
Oda 3	7536	86.02
Oda 4	7649	87.31
1. Kat Sofa	3684	42.05
Cumba	7419	84.69

Buna göre evin mekânlarının konfor aralığında kalma sürelerine bakıldığında mekân konfor sıralamasında en konforlu mekân tandır eviyken, en konforsuz oda zemin ve ara kat sofa'dır.

5 Genel Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Elazığ Harput Şefik Gül Evi'nin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükü hesabı Design Builder simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

Şefik Gül Kültür Evi'nin Design Builder simülasyon programında gerçekleştirilen ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükü hesap sonuçları incelendiğinde; yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacının 21166.15 kWh, yıllık toplam soğutma enerjisi ihtiyacının 1511.43 kWh ve yıllık toplam aydınlatma enerjisi ihtiyacının 2599.98 kWh olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, toplam enerji tüketim (ısıtma, soğutma ve aydınlatma) miktarının 125,21 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. Bu değer günümüz binalarında da sağlanması gereken ve IEA tarafından önerilen tüketim miktarının da altındadır. Buradan hareketle günümüzde iklim verilerini doğru değerlendiren ve kullanan yapı gerçekleştirmeye çalışırken, yüzyıllarca deneyimlenerek oluşturulan bu yapılardan alınması gereken dersler olduğu açıktır.

Design Builder programından elde edilen hesap sonuçlarının ve Elazığ İline ait iklim verilerinin Energy Plus 8.2 yazılımına aktarımıyla ortaya çıkan ve dış sıcaklık değişimlerine bağlı olarak değişen saatlik iç mekân sıcaklıklarına göre yıl boyunca mekanların konfor sıcaklığı aralığında kalma oranı ortalaması evin Sofa mekanları dışında kalan yerleri için % 77.27'dir.

Şefik Gül Kültür Evi binasının saat yönünde 45°, 90°, 135° ve 180° döndürülmesiyle oluşan dört farklı yönlendirilme senaryoları için simülasyon programı aracılığı ile hesaplanan toplam enerji ihtiyaçları incelendiğinde en iyi bina yönlendirilme alternatifinin mevcut bina yönlendirilme durumu olduğu görülmüştür.

Bu durum uygun yönlenme ile günümüz yapılarında kullanım süresince konforlu ortamlara ulaşmanın ve enerji maliyetlerinde önemli ölçüde azalma sağlanmasının mümkün olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Mekan pencerelerinin ısı kazanım miktarlarına bakıldığında güney cephe pencereye sahip olan mekanların ısıtmanın istendiği kış aylarında ısı kazanım miktarlarının diğer mekanlardan fazla olduğu görülmüştür. Batı ve doğu yönlerinde pencerelere sahip odalarda ise bu pencerelerin soğutma yüküne etki edecek şekilde yaz aylarında istenmeyen ısı kazançlarına sebebiyet verdiği görülmüştür. Geleneksel konut mimari örneklerinin bulunduğu yerlerde konutların enerji korunumu açısından değerlendirilmesi ve yeni yapılacak binaların tasarım sürecinde bu yapıardan ilham almaları önemli faydalar sağlayacaktır. Avlu ve cumba gibi yapı öğeleriyle birlikte kış aylarında güneş kazançlarının artırılması, yaz aylarında da güneş korunumuna olanak sağlanmaktadır. Bu ve bunlar gibi geleneksel yapı öğelerinin modernize edilerek günümüz binalarına entegre edilmesiyle daha konforlu tasarımlar gerçekleştirilebilir.

Açıklamalar

Bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Harputlugil, G. ve U., Çetintürk, N., 2005. Geleneksel Türk Evi'nde ısı konfor koşullarının analizi: Safranbolu Hacı Hüseyinler Evi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20, 77-84.
- [2] Mousli, K., & Semprini, G., 2015. Thermal performances of traditional houses in dry hot arid climate and the effect of natural ventilation on thermal comfort: a case study in Damascus. Energy Procedia, 78, 2893-2898.
- [3] Akfıdan, C., 2018. Bolu Gülezler Konağı'nın ısıtma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım değişkenleri açısından değerlendirilmesi, *Yüksek Lisan Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Temur, H., 2011. Edirne geleneksel konut mimarisinin sürdürülebilirlik bağlamında enerji verimliliği ve ısı analiz açısından değerlendirilmesi, *Yüksek Lisan Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [5] Erdemir, İ., 2014. Sıcak-kuru iklim bölgelerinde enerji korunumu-yerleşme dokusu-form etkileşimi: geleneksel Diyarbakır evleri örneği, *Yüksek Lisan Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [6] Mohammadzadeh, E., Akhava Farshchi, M., & Ford, A., 2015. Vernacular architecture and energy use in buildings: a comparative study, Volume-2, Issue-4, 2394-2827.
- [7] Pallaska, E., Haugen, T., Hoxha, V., Finochiaro, L., & Temeljooyov Slaj, A., 2018. Sustainability by improving energy efficiency in traditional housing in Kosova, Volume-5, Issue-5.
- [8] Yıldız, D., & Manioğlu, G., 2015. Evaluating sustainability and energy efficiency of a traditional housing: the case of the Samanbahçe Settlement in Cyprus, Volume-12, No-2, 205-220.
- [9] Öztürk, Ş, Coşkun, M., 2014. Geleneksel Harput & Elazığ evleri, Kültür Yayınları.
- [10] Akgüç, A., 2017. Energy Plus ve Design Builder simülasyon araçlarının işlevi ve kullanımına yönelik genel bir bakış, TTMD Dergisi, Sayı-11 (Ek).
- [11] TSE (2011). TS 2164/T2 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] TSE (2013). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı (TS 825), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] IEA, 2001. Energy Policies of IEA Countries, Turkey.



EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE USE OF BIOFUELS IN MOBILE POWER PLANTS

Muhammed Mustafa Uyar^{*1}, Hikmet Esen², Mahmut Uyar³

¹Malatya Turgut Özal University, Arapgir V.H.S, Department of Electrical and Energy, Malatya, Turkey

²Firat University, Faculty of Technology Department of Energy Systems Engineering, Elazığ, Turkey

³Siirt University, Teknik Bilimler V.H.S, Department of Machine and Metal Technologies, Siirt, Turkey

Abstract

Original scientific paper

In this study, biodiesel was produced from canola, soybean and waste sunflower oils by using base-catalyzed transesterification reaction. Biodiesel produced from these oils has been investigated to comply with TS-EN 14214 standards. The produced fuels were mixed with diesel fuel at 5%, 10% and 20% and tested in a three-cylinder direct injection diesel engine. Engine performance and emission characteristics have been compared with diesel fuel. In addition, electricity generation costs in case of using biodiesel and diesel fuel were compared. According to the experimental results; It has been determined that biodiesel blends have similar properties with diesel fuel. With the increase in the biodiesel ratio in diesel fuel, an increase was observed in specific fuel consumption and exhaust outlet temperature. When the use of biodiesel in the engine is compared to diesel fuel, it has been observed that there is a decrease in HC, CO, smoke emissions, and an increase in CO₂, NO_x and O₂ values. As a result of the engine tests, it has been concluded that biodiesel and blended fuels can be used in the diesel engine without changing its structure. It has been observed that biodiesel provides more benefits than diesel fuel in terms of wear due to its lubricating properties. In addition, it has been seen that it will be an alternative fuel for diesel engines as it has a reducing effect on air pollution. It has been determined that the lowest production cost among the test fuels is waste sunflower oil biodiesel. While 1 kW of electricity was produced for 2.12 TL in the use of diesel fuel, it was determined that it was produced for 1.99 TL in the use of 20% waste sunflower oil biodiesel (AAYB20) fuel.

Keywords: Biofuel, Canola oil, Soybean oil, Waste sunflower oil, Mobile power plants

MOBİL GÜÇ SANTRALLERİNDE BİYOKAYIT KULLANILMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Özet

Orijinal Bilimsel Makale

Bu çalışmada kanola, soya ve atık ayçiçeği yağlarından baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu uygulanarak biyodizel üretilmiştir. Bu yağlardan üretilen biyodizeller TS-EN 14214 standartlarına uygun olduğu araştırılmıştır. Üretilen yakıtlar dizel yakıtla %5, %10 ve %20 oranlarında karıştırılarak üç silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda test edilmiştir. Motor performans ve emisyon karakteristikleri dizel yakıt ile kıyaslanmıştır. Ayrıca biyodizel ve dizel yakıt kullanılması durumundaki elektrik üretim maliyetleri karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre; biyodizel karışımlarının dizel yakıt ile benzer özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artması ile özgül yakıt tüketiminde ve egzoz çıkış sıcaklığında artış gözlenmiştir. Motordaki biyodizel kullanımı dizel yakıt ile kıyaslandığında HC, CO, duman emisyonlarında düşüş, CO₂, NO_x ve O₂ değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Yapılan motor testleri sonucunda biyodizel ve karışım yakıtlarının dizel motorda yapısında değişiklik yapılmadan kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır. Biyodizellerin yağlama özelliği olduğundan dolayı aşınmalar konusunda dizel yakıtla kıyasla daha fayda sağladığı görülmüştür. Ayrıca hava kirliliğini azaltıcı etkisi olduğu için dizel motorlar için alternatif bir yakıt olacağı görülmüştür. Test yakıtları arasında en düşük üretim maliyetinin atık ayçiçeği yağı biyodizeli olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıt kullanımında 1 kW elektrik, 2.12 TL'ye üretilirken, %20 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli (AAYB20) yakıtının kullanımında ise 1.99 TL bedel karşılığında üretilmiş olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Kanola yağı, Soya yağı, Atık ayçiçeği yağı, Mobil güç santralleri

1 Giriş

Ulaştırma sektörü başta olmak üzere, deniz taşımacılığı, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerde dizel motorlar aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Dizel yakıtın kullanım alanının bu denli geniş ve petrol rezervinin de sınırlı olması durumları bir bütün halinde değerlendirildiğinde, ilerleyen yıllarda dizel yakıtın litre fiyatının artması ve hatta sektörlerin enerji talebinin karşılanamaması durumu ile karşılaşılması olası bir durumdur. Ayrıca fosil kaynaklı yakıtların motorlarda yanması sonucunda ortaya çıkan egzoz gazlarının çevreye

verdiği zarar da kabul edilebilir sınırları zorlamaktadır. Bu nedenle dizel motorların enerji ihtiyacına cevap verebilecek formda, çevre dostu ve standart dizel yakıtla alternatif oluşturacak nitelikte alternatif yakıtlara ihtiyaç duyulmaktadır. Alternatif yakıtın yenilenebilir, ekonomik, çevre dostu ve kolay elde edilebilir olması gerekmektedir. Biyodizel, dizel motorlar için bu gereksinimleri karşılayabilecek alternatif bir yakıt tipi olarak kabul edilmektedir. Yapılan bu çalışmada farklı özelliklere sahip biyodizel yakıtlarının bir dizel motorda performans, emisyon ve maliyet değerlerinin dizel yakıtla göre kıyaslanması amaçlanmıştır. Son yıllarda, farklı bitkisel

* Corresponding author.

E-mail address: muhammed.uyar@ozal.edu.tr (M. M. Uyar | ORCID Number : 0000-0001-9897-6279)

Received 27 October 2020; Received in revised form 24 November 2020; Accepted 25 November 2020

2587-1943 | © 2020 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.817012>

yağlar (soya, kolza, pamuk, mısır, yerbıstığı, haşhaş, kanola, ayçiçeği [1-3], hayvansal yağlar (hayvansal iç yağ, tavuk yağı, balık) [4-6], atık kızartma yağları [7] ve atık motor yağları [8] biyodizel üretiminde kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda biyodizelin ulaşım, tarım ve nakliye sektörlerinde kullanılabilirliği araştırılmış olmasına rağmen, enerji üretimi alanında kullanımı yeterince incelenmemiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Aksoy ve ark (2019); %10 balık yağı biyodizeli ve % 90 dizel yakıt, karışımından oluşan yakıtı; direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda yanma ve performans durumlarını deneysel olarak incelemelerinde deney motorunu 2200 d/d da 3.75, 7.5, 11.25 ve 15 Nm motor yüklerinde çalıştırarak teste tabi tutmuştur. Deney sonucunda balık yağı biyodizeli-dizel yakıt karışımının dizel motorda değişikliklik yapılmadan kullanılabilirliği görülmüştür [9]. Radhakrishnan ve ark (2019); saf biyodizel ve suyun karışımından elde edilen yakıtların dizel motoru üzerindeki performans, emisyon ve yanma özelliklerini incelemişlerdir [10].

2 Çalışmada Kullanılan Yağlar ve Özellikleri

2.1 Kanola Yağı

Kanola yağı, kolza bitki tohumlarının genetik olarak ıslah edilmesiyle elde edilmiş tohumlardan elde edilen bir yağ çeşididir. Kanada tarafından geliştirilip tüm dünyaya tanıtıldığı için Canadian Oil, olarak bilinmektedir. Uzun yıllar makinelerde yağlama amaçlı kullanılmış ve daha sonra market raflarında yer almaya başlamıştır. Piyasada satımı gerçekleşen kanola yağları kolza bitkilerinin olumsuzluklarından arındırılmış olup kanola yağlarındaki erusik asit oranı % 40'tan % 0.1 oranlarına kadar düşürülmüştür ve bu kadar düşük bir oran da insan sağlığı üzerinde olumsuz etki oluşturmamaktadır. Kanola yağının bir diğer olumlu yönü ise doymuş yağ oranının düşük olmasıdır. Doymuş yağ oranı; zeytinyağında % 15, ayçiçek yağlarında %12 iken bu oran kanola yağlarında % 7 civarındadır. Kanola yağındaki doymuş yağ oranındaki bu düşük oran ve içeriğinde omega-3 yağ asidi bulunması sağlığa önemli bir katkı sağlamaktadır.

Kanola yağının tercih sebeplerinden bir diğeri ise ayçiçeği yağına oranla ısıya karşı daha dayanıklı olmasıdır. Bu da kızartma yağı olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca kızartma sonrası yağda tat değişikliği de oluşmamaktadır.

2.2 Soya Yağı

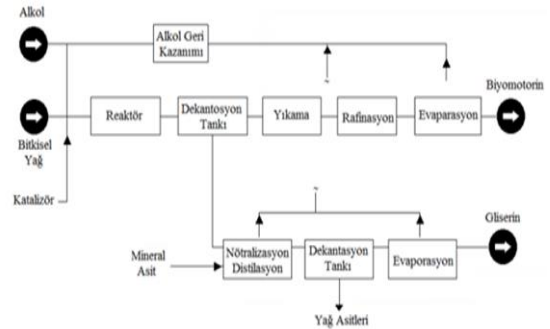
Soya yağı, soya yağı leguminosae familyasından glycine max türlerinin tohumlarından elde edilir. Soya ziraati ile uğraşan başlıca ülkeler Amerika, Brezilya, Arjantin, Çin ve Japonya' dır. Soya yağının ülkemizde ayçiçeği yağının liderliğinin sürdürdüğü sıvı yağ pazarı içindeki payı ise %1' den daha düşüktür. Soya tohumunun kimyasal bileşiminde protein içeriği (%40) yüksek olan küspesi için ekimi yapılan soya tohumunda %20-22 oranında yağ bulunmaktadır.

2.3 Atık Ayçiçeği Yağı

Bu çalışmada atık kızartma yağının biyodizel üretiminde kullanılmasının en önemli nedeni karşılaştırma amaçlıdır. Karşılaştırma için özellikle bu yağ seçilmiştir, çünkü biyodizel üretiminde en çok kullanılan yağ olması ve maliyet açısından en ucuz olmasıdır. Ayrıca bu metil esteri katkı maddeleriyle destekleyip, fiziksel ve kimyasal yönden daha kaliteli bir yakıt haline getirmek atık yağların incelenmesinin nedenleri arasındadır. Ayrıca çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar da düşünüldüğünde atık yağlar hususunda daha detaylı çalışmalar yapılması gerekliliği hassasiyetle değerlendirilmelidir.

3 Biyodizel Yakıtlarının Hazırlanması

Bu çalışmada, baz katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu uygulanarak kanola, soya ve atık ayçiçeği yağlarından biyodizeller üretilmiştir. Farklı bitkisel yağların dizel motorlarda sorunsuz bir şekilde yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı ön işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlemler tercih edilme sırasına göre transesterifikasyon, seyreltme, mikro emülsiyon ve proliz olarak sıralanabilir. Biyodizel üretiminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmektedir. Bu deneysel çalışmada yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınarak transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin üretim sürecindeki aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Biyodizelin üretim şeması

Transesterifikasyon, yağların (trigliseridlerin) viskozitesini azaltmak amacıyla uygulanan bir reaksiyondur. Bu işlemden yağ, monohidrik bir alkol türü ile (metanol, etanol, izopropil), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında reaksiyona tabi tutulur. Bu reaksiyon sonucunda yağ asitleri elde edilir. Biyodizel üretiminde sırasıyla, alkol ve katalizörün karıştırılması, reaksiyon, ayırma, alkolün uzaklaştırılması, gliserin nötralizasyonu, metil ester yıkama işlemi gibi işlem basamakları takip edilmektedir.

Reaksiyon işleminde kullanılacak olan yağların nemden arındırılmış olması oldukça önemlidir. Çünkü suyun, reaksiyonu olumsuz etkilemesinin yanı sıra yeni serbest yağ asitlerinin oluşumuna da sebebiyet vereceği bilinmektedir. Temin edilmiş olan yağlar, soğuk pres yöntemi ile elde edildiği için içeriğinde nem bulunma ihtimali yüksektir. Bu sebepten dolayı, transesterifikasyon işlemine başlamadan önce Şekil 2'deki cihazda vakum altında 72 °C sıcaklıkta, yağın içeriğindeki olası nem uzaklaştırılmıştır.



Şekil 2. Buharlaştırma işlemi

1000 ml kanola, soya ve atık ayçiçeği yağı üç boyunlu bir balon içerisinde manyetik karıştırıcıda 500 (RPM) devir ve 60 °C sıcaklık şartlarında karıştırılmıştır. Bir diğer manyetik karıştırıcıda ise kullanılan yağın %20'si kadar (200 ml) metanol içerisinde, yağın % 0.4'ü kadar (4 gr) sodyum hidroksit (NaOH) tuzu tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır. NaOH tuzu metanol içerisinde tamamen çözüldükten sonra, 60 °C'de sabit sıcaklıkta karıştırılmakta olan kanola, soya ve atık ayçiçeği yağlarına hazırlanmış olan çözelti kademeli olarak ilave edilmiştir. Şekil 3'deki gibi geri soğutuculu sistem altında 2 saat süreyle transesterifikasyon reaksiyonu devam ettirilmiştir.



Şekil 3. Transesterifikasyon işlemi

2 saatin sonunda madde, ayırma hunisine alınarak gliserin ve metil esterlerin faz ayrışmasını sağlamak için 24 saatlik bir bekleme süresine tabi tutulmuştur. Bekleme süresinin bitiminde yoğunluğu fazla olan gliserinin alt fazı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayırma hunisinin vanası açılarak alt faz yani gliserin fazı alınmıştır. Her ne kadar reaksiyon sonunda gliserin fazı net bir şekilde ayrılmış olsa da; gliserin, tuz ve artık metanol yağ asitleri fazında bulunmaktadır. Biyodizel içerisinde homojen olarak karışan bu maddeleri, metil ester içinden ayırarak için yıkama işlemine tabi tutmak gerekmektedir. Gliserin, tuz ve metanol ün ortak özelliği suda çözünüyor olmalarıdır. Yıkama işleminde bu maddeler suda çözünerek alt faza alınır. Bu sayede metil esterden ayrıştırılmış olur. Daha da saflaşan biyodizel son olarak buharlaştırma işlemine tabi tutularak içeriğindeki nem uzaklaştırılmıştır. Ürün son halini aldıktan sonra filtrelenecek depolanmıştır.

4 Motor Test Materyalleri

Deney seti, dizel motor, senkron jeneratör, hassas terazi, AC yük grubu, egzoz gazı analiz ve duman ölçüm cihazından oluşmaktadır. Deneysel çalışma Genpower marka bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Çalışma esnasında motorda herhangi bir aksamda değişiklik yapılmamıştır. Elde edilen kanola, soya ve atık ayçiçeği biyodizelleri teste tabi tutulmuştur. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

Deneylere başlamadan önce yağlama yağının değişimi, hava filtresinin temizlenmesi gibi bir takım rutin motor bakımları yapılmıştır. Motorun yakıt enjektörleri sökülerek kontrolleri yapılmıştır. Tüm yakıt testleri motorda herhangi bir modifikasyon yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Motor standart dizel yakıt ile bir süre yüksüz çalıştırılmış ve sonra motor optimum çalışma sıcaklığına geldikten sonra motora 2.5 kW (%25) – 5 kW (%50) – 7.5 kW (%75) – 10 kW (%100) değerindeki 4 ayrı kademede yük uygulanmıştır. Bu işlem üç defa tekrar edilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması kaydedilmiştir. Bir yakıt türü için ölçümler tamamlandıktan sonra motor durdurulup, bir süre beklendikten sonra diğer yakıt türü ile çalışmaya geçilmiştir. Deneysel çalışmada yukarıda belirtilen değişken yük değerlerinde özgül yakıt tüketimi (g/kWh), HC (ppm), CO (%), CO₂ (%), O₂ (%), NO_x (ppm), egzoz çıkış sıcaklığı (°C) ve duman (is) emisyon değerleri ölçülmüştür.

5 Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Kanola yağından hazırlanan %5 oranında kanola biyodizeli (KYB5), %10 oranında kanola biyodizeli (KYB10) ve %20 oranında kanola biyodizeli (KYB20) ve soya yağından hazırlanan %5 oranında soya biyodizeli (SYB5), %10 oranında soya biyodizeli (SYB10) ve %20 oranında soya biyodizeli (SYB20) ve atık ayçiçeği yağından hazırlanan %5 oranında atık ayçiçeği biyodizeli (AAYB5), %10 oranında atık ayçiçeği biyodizeli (AAYB10) ve %20 oranında atık ayçiçeği biyodizeli (AAYB20) test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve egzoz emisyonları test edilmiştir. Test işlemi dizel jeneratörün, 1500 d/d sabit devir ve değişken yük şartlarında ölçülmüştür. Bu ölçümlerde ölçülen ve hesaplanan ÖYT, NO_x, CO, HC, is (duman) salınımı ve egzoz gazı sıcaklık değerleri standart dizel yakıtın değerleri ile kıyaslanmıştır. Ölçüm değerleri bütün değerlendirilen parametreler için hem tablo hem şekil olarak verilmiştir.

5.1 Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Analizi

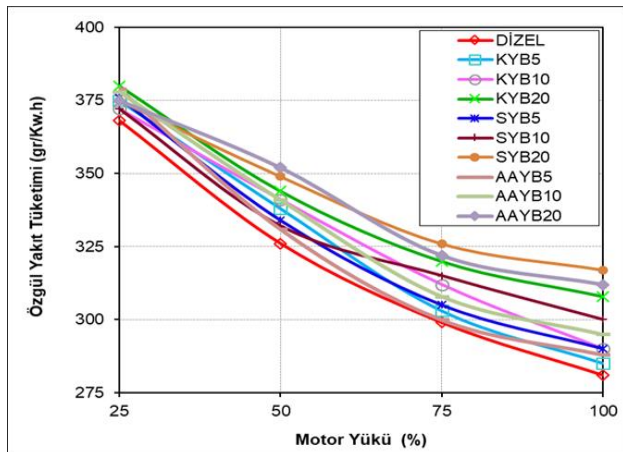
Özgül yakıt tüketimi, birim güç başına tüketilen kütleli yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Test işlemi neticesinde hesaplanan (ÖYT) değerleri, Tablo 1 ve Şekil 5’ de gösterilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerleri motor gücüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Düşük yük şartlarında; ısı kayıpların fazla olması ve azalan türbülans nedeniyle kötüleşen homojen dolgu şartlarına bağlı olarak yanma veriminin düşük olması, tüm test yakıtlarında (ÖYT) değerleri yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. Yükün artması ile beraber silindir içi yanma sıcaklığının yükselmesi, yanma performansının iyileşmesi ve ısı verimliliğinin artması (ÖYT) değerlerini düşürmektedir. Tüm yük şartlarının ortalaması dikkate alınarak yapılan hesaplamada en düşük özgül yakıt tüketimi değeri dizel yakıtında iken, en yüksek özgül yakıt tüketimi değerin ise (AAYB20) yakıt numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Test yakıtlarının tamamında yükün artması ile beraber termik verimin arttığı ve beraberinde özgül yakıt tüketimi değerlerinin düştüğü görülmektedir. Biyodizel içerikli test yakıtlarının viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek, ısı enerji değerinin ise düşük olması, standart dizel yakıtına göre (ÖYT) değerlerinin yüksek

Tablo 1. Yakıt numunelerinin değişken yükteki ÖYT değerleri

KYB	ÖYT DEĞERİ (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	375	338	303	285
B10	372	341	312	290
B20	380	344	320	308

SYB	ÖYT DEĞERİ (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	376	334	305	290
B10	372	332	315	300
B20	375	349	326	317

AAYB	ÖYT DEĞERİ (gr/kWh)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	368	326	299	281
B5	379	331	300	288
B10	378	341	308	295
B20	375	352	322	312



Şekil 5. Yakıt numunelerinin değişken yükteki (ÖYT) değerlerindeki değişimi

çıkmasına sebebiyet verdiği görülmüştür. Kanola biyodizelinin soya ve atık ayçiçeği biyodizeline kıyasla; birim güç başına daha az yakıt harcadığı tespit edilmiştir. Kanola biyodizelinin ısı enerji değerinin, soya ve atık ayçiçeği biyodizeline göre yüksek olması bu farklılığın en temel sebebi olarak gösterilmiştir. Yanma odasına püskürtülen yakıtın; yoğunluğu, viskozitesi ve ısı değeri (ÖYT) değerlerini doğrudan etkileyen en temel unsurlardır [12-14].

5.2 NO_x Emisyonu Değerlerinin Analizi

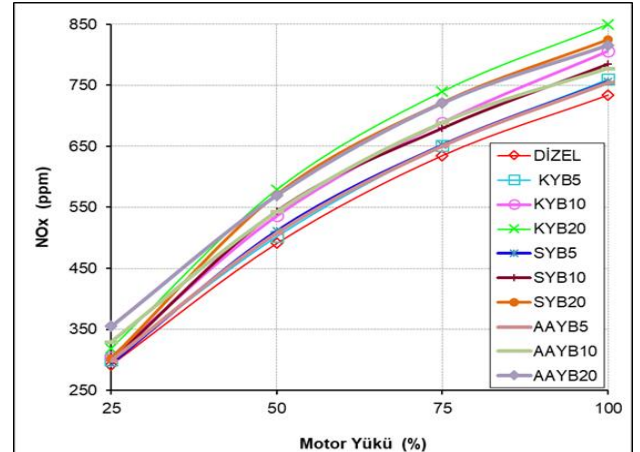
Yanma odasına alınan havada %79 oranında bulunan azot NO_x emisyonlarının kaynağı olarak gösterilmektedir. Bu emisyon, motorun yüksek sıcaklık değerlerindeki çalışmasında oluşmaktadır. NO_x terimi, NO ve NO₂'nin atmosferdeki toplam yoğunluğunun ifadesidir. Kullanılan havanın içeriğindeki oksijen aşırı sıcak çalışma şartlarında ve yanma için yeterli zaman oluştuğunda, azot ile reaksiyona girer. NO_x'in oluşması silindir içi basınç ve sıcaklığa bağlıdır. Ayrıca tutuşma gecikmesi ve yanma periyodu da bu oluşumun diğer yan unsurlardır. Test yakıtlarının NO_x emisyonu değerleri, Tablo 2 ve Şekil 6’ da gösterilmiştir.

Tablo 2. Yakıt numunelerinin değişken yükteki NO_x emisyonu değerleri

KYB	NO _x EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	300	502	651	760
B10	305	536	689	806
B20	319	579	740	850

SYB	NO _x EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	294	511	652	756
B10	299	544	680	785
B20	302	571	722	825

AAYB	NO _x EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	292	491	635	734
B5	299	508	651	755
B10	330	543	689	778
B20	355	570	721	816



Şekil 6. Yakıt numunelerinin değişken yükteki NO_x emisyonları değişimi

Motor yükünün artışına paralel olarak tüm test yakıtlarının NO_x emisyonu değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Tüm yük şartları dikkate alındığında, en düşük NO_x emisyonu değerlerinin dizel yakıtta, en yüksek NO_x emisyonu değerlerinin ise (KYB20) yakıtında olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel, kimyasal olarak oksijen içermektedir. Bu durum, silindir içi basıncı ve yanma sıcaklığını arttırmaktadır. Egzoz gazı sıcaklık değerleri de bu tespiti doğrular niteliktedir. Biyodizel içerikli test yakıtlarının NO_x emisyonlarının yüksek çıkması belirtilen bu sebebe bağlanmıştır. Dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla silindir içi basınç ve sıcaklık değerlerinin yüksek seviyelere ulaşması, tutuşma gecikmesi ve yanma süresi NO_x emisyonu oluşmasına neden olarak gösterilebilir [15].

5.3 CO Emisyonu Değerlerinin Analizi

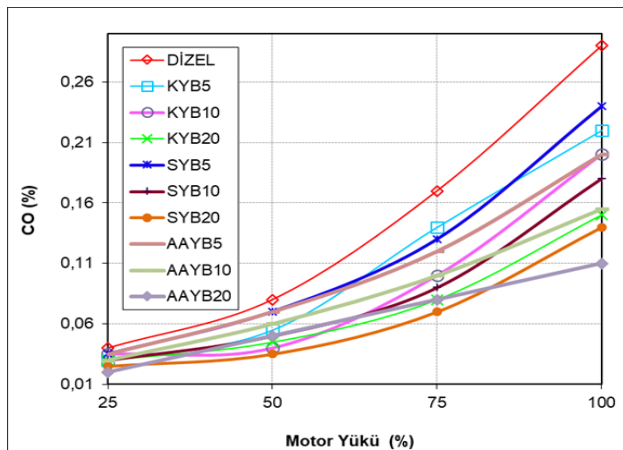
CO emisyonunun oluşma nedeni yanma odasındaki oksijenin yetersizliği olarak ifade edilmektedir. Test yakıtlarının CO emisyonu değerleri, Tablo 3 ve Şekil 7' de gösterilmiştir. Tüm yük şartlarında biyodizel içerikli yakıtların CO değerleri, standart dizel yakıtı kıyasla düşük

Tablo 3. Yakıt numunelerinin değişken yükteki CO emisyonu değerleri

KYB	CO EMİSYONU (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.03	0.055	0.14	0.22
B10	0.035	0.04	0.1	0.2
B20	0.03	0.045	0.08	0.15

SYB	CO EMİSYONU (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.035	0.07	0.13	0.24
B10	0.03	0.05	0.09	0.18
B20	0.025	0.035	0.07	0.14

AAYB	CO EMİSYONU (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	0.04	0.08	0.17	0.29
B5	0.035	0.07	0.12	0.2
B10	0.03	0.06	0.1	0.155
B20	0.02	0.05	0.08	0.11



Şekil 7. Yakıt numunelerinin değişken yükteki CO emisyonları değişimi

değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Analizler neticesinde en yüksek CO emisyonu dizel yakıtta ölçülürken, en düşük CO emisyonu ise (SYB20) yakıtında ölçülmüştür. Tüm test yakıtlarındaki CO değerleri bir bütün halinde değerlendirildiğinde, yakıt numunesi içerisindeki oksijen içeriğinin artması ile ters orantılı olarak CO emisyonlarının düştüğü gözlemlenmiştir.

CO emisyonlarının oluşumu dizel motorlarda birçok nedene bağlanabilir. Gaz sıcaklığının düşük olması, yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'ye dönüşüm için yeterli zamanın kalmamasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO emisyonu değerlerini artırır. Biyodizel yakıtının oksijen içermesi, düşük karbon oranı ve yüksek setan sayısı CO emisyonlarındaki azalmanın en temel sebepleridir [16].

5.4 HC Emisyonu Değerlerinin Analizi

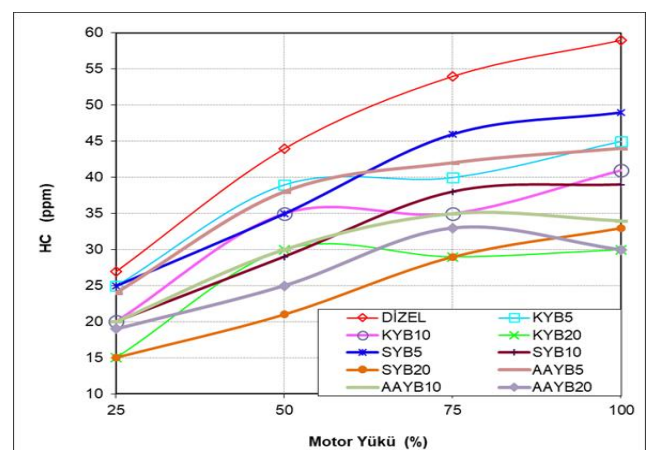
HC emisyonları, kısaca eksik yanma olarak ifade edilmektedir. Test yakıtlarının HC emisyonu değerleri, Tablo 4 ve Şekil 8' de gösterilmiştir

Tablo 4. Yakıt numunelerinin değişken yükteki HC emisyonu değerleri

KYB	HC EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	25	39	40	45
B10	20	35	35	41
B20	15	30	29	30

SYB	HC EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	25	35	46	49
B10	20	29	38	39
B20	15	21	29	33

AAYB	HC EMİSYONU (ppm)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	27	44	54	59
B5	24	38	42	44
B10	20	30	35	34
B20	19	25	33	30



Şekil 8. Yakıt numunelerinin değişken yükteki HC emisyonları değişimi

Tüm test yakıtlarında, yükün artmasına paralel olarak kullanılan yakıt miktarının kütsel olarak artmış olması, HC emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamıştır. Tüm yük şartları dikkate alındığında, en yüksek HC emisyonu değerlerinin dizel yakıt kullanımında, en düşük HC emisyonu değerlerinin ise (SYB20) yakıtında ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Biyodizel içerikli yakıt numunelerinin setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek olması, iyi bir yanma karakteristiğinin oluşmasına zemin hazırladığı ve bu sebeple biyodizel içerikli yakıt numunelerinin HC emisyon değerlerinin düşük çıkmış olduğu değerlendirilmiştir. Biyodizel içerikli test yakıtlarının egzoz gaz sıcaklık değerlerinin yüksek ölçülmesi de bu tespiti desteklemektedir.

5.5 Duman (is) Emisyonu Değerlerinin Analizi

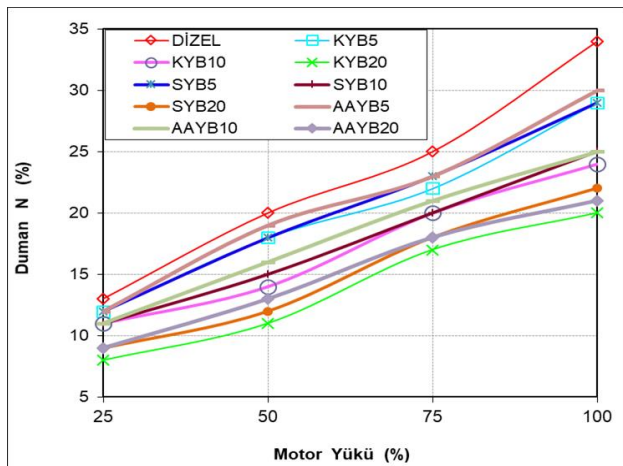
Alev içerisindeki türbülanslı karışım alanları ve sıcaklık, is oluşumunu etkileyen önemli parametrelerdir. Test yakıtlarının duman (is) emisyonu değerleri, Tablo 5 ve Şekil 9’ da gösterilmiştir. Yükün artışı ile beraber kullanılan yakıt miktarının da artmış olması tüm test yakıtları için duman emisyonu değerlerini arttırmıştır.

Tablo 5. Yakıt numunelerinin değişken yükteki duman (is) emisyonu değerleri

KYB	DUMAN (IS) SALINIMI (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	18	22	29
B10	11	14	20	24
B20	8	11	17	20

SYB	DUMAN (IS) SALINIMI (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	18	23	29
B10	11	15	20	25
B20	9	12	18	22

AAYB	DUMAN (IS) SALINIMI (%)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	13	20	25	34
B5	12	19	23	30
B10	11	16	21	25
B20	9	13	18	21



Şekil 9. Yakıt numunelerinin değişken yükteki duman (is) emisyonları değişimi

Tüm yük şartları dikkate alındığında, en yüksek duman emisyonu değerlerinin dizel yakıt kullanımında gerçekleştiği, en düşük duman emisyonu değerleri ise (KYB20) yakıtının kullanılmasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Oksijen içerikli yakıtlar silindir içi sıcaklığı arttırmaktadır. Bu artışın yanma verimini olumlu etkileyerek bölgesel sıcaklık değişimini önlediği düşünülmektedir. Bölgesel sıcaklık değişimi ve oksijen konsantrasyonu dağılımı is oluşumunu tetikleyen temel mekanizmalardır [17].

5.6 Egzoz Gazı Sıcaklık Değerlerinin Analizi

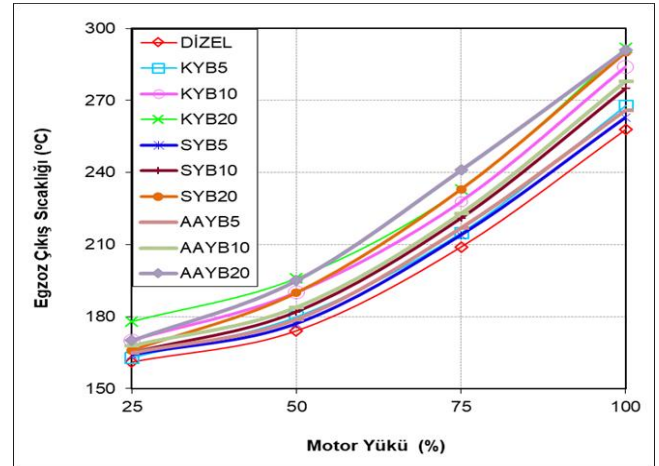
Yanma odasındaki ısı enerjisinin yüksek olması, egzoz çıkış sıcaklığının yüksek oluşmasına sebep olmaktadır. Test yakıtlarının egzoz gazı sıcaklık değerleri, Tablo 6 ve Şekil 10’ da gösterilmiştir. Yükün artmasına paralel olarak tüm yakıt numunelerinde egzoz çıkış sıcaklık değerlerinin artmış olduğu tespit edilmiştir. En düşük egzoz çıkış sıcaklığının dizel yakıt kullanımında, en yüksek egzoz çıkış sıcaklığının ise (AAYB20) yakıtının kullanılmasında gerçekleştiği görülmüştür. Biyodizel içerikli test yakıtlarının setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek

Tablo 6. Yakıt numunelerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değerleri

KYB	EGZOZ ÇIKIŞ SICAKLIĞI(°C)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	163	180	215	268
B10	170	190	228	284
B20	178	196	233	292

SYB	EGZOZ ÇIKIŞ SICAKLIĞI(°C)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	164	177	214	263
B10	165	182	221	275
B20	166	190	233	290

AAYB	EGZOZ ÇIKIŞ SICAKLIĞI(°C)			
	% 25	% 50	% 75	% 100
DY	161	174	209	258
B5	165	179	217	266
B10	168	184	223	278
B20	170	195	241	291



Şekil 10. Yakıt numunelerinin değişken yükteki egzoz çıkış sıcaklığı değişimi

olması egzoz çıkış sıcaklığı değerlerini yüksek seyretmesinin en temel sebebidir. Biyodizel kullanımında yanma periyodu, dizel yakıtı göre daha uzundur. Bu durum, biyodizel kullanımında egzoz sıcaklık değerlerinin artmasına zemin hazırlamaktadır [18]. İyi bir yanma karakteristiği, her zaman egzoz çıkış sıcaklığının yüksek değerlere ulaşmasına sebep olmaktadır.

6 Maliyet Analizleri

Analizler, yakıt üretim maliyeti ve elektrik üretim maliyeti olmak üzere iki aşamada değerlendirilmiştir. Kanola, soya ve atık ayçiçeği yağı kimyasal ortamda transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizele dönüştürülmüştür. Yakıt üretim maliyeti kimyasal süreçteki maliyetleri ihtiva etmektedir. Elektriksel maliyet analizinde ise; elde edilen yakıtların, dizel bir jeneratörde test işlemine tabi tutulması neticesinde elde edilen elektrik enerjisinin üretim maliyeti hesaplanmıştır.

6.1 Yakıt Üretim Maliyetlerinin Analizi

Yağ, katalizör ve elektrik sarfiyatından ibaret olan yakıt üretim maliyeti, kanola, soya ve atık ayçiçeği için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Reaksiyonda kullanılan yağın litre fiyatının dışındaki malzeme kalemleri her üç yakıtın üretim prosesinde de aynı oranlarda kullanılmıştır. 1 litrelik biyodizel üretimi için %20 oranında metanol, %4 oranında ise NaOH kullanılmıştır. Bu sebeple hesaplama yapılırken, ortak kullanım kalemlerine ait toplam maliyetler çıkarılıp, üzerine yağın fiyatı eklenmiştir. Son olarak elde edilen rakam üretim verimi ile çarpılarak, net maliyet tespiti yapılmıştır. 1 litrelik üretim için kullanılan ortak malzemeler, miktarları ve fiyatları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Reaksiyonlarda kullanılan ortak kullanım malzemelerinin miktar ve fiyatları

Reaksiyonda kullanılan malzemeler	Kullanılan ürün miktarı	Birim fiyat (TL)	Toplam Tutar (TL)
Metil alkol	0.2 lt	7	1.40
NaOH	4 gr	17.2	0.0688
Kullanılan elektrik enerjisi	1lt için	-	0.151
Genel Toplam			1.62 TL

Her üç yağın biyodizele dönüştürülmesi sürecinde kullanılan kimyasallar ve elektrik sarfiyatları aynı olup, bu rakam Tablo 7 'de gösterildiği üzere 1.62 TL olarak tespit edilmiştir. Tablo 8 'de, yağların fiyatının, ortak gider kalemlerine ilave edilmesi ve üretim verimleri dikkate alınarak yapılan net maliyet analizleri verilmiştir.

Kanola yağından biyodizel yakıtı elde edilmesinin maliyeti 4.34 TL, soya yağından biyodizel üretiminin maliyeti 4.87 TL iken atık ayçiçeği yağından biyodizel üretiminin maliyeti 1.67 TL olduğu tespit edilmiştir. Atık ayçiçeği yağından biyodizel üretiminin maliyetinin soya ve kanola yağından daha ekonomik olduğu görülmüştür. Bu maliyet farklılığının en temel sebebi atık ayçiçeği yağının bedelsiz olarak temin edilemesidir. Standart dizel yakıtın fiyatının 6.30 TL olduğu düşünüldüğünde, biyodizel üretim maliyetlerinin oldukça

ekonomik olduğu söylenebilir.

Tablo 8. Üretilen biyodizellerin litre fiyatlarının dizel yakıt ile karşılaştırılması

Yakıt türü	Kullanılan yağ birim fiyatı (TL)	Reaksiyonda kullanılan malzeme fiyatları (TL)	Üretim verimleri (%)	Toplam maliyet (TL)
Kanola biyodizeli	2.68	1.62	97.8	4.34
Soya biyodizeli	3.2	1.62	97.2	4.87
Atık ayçiçeği biyodizeli	Bedelsiz	1.62	96.8	1.67
Dizel Yakıt	-	-	-	6.30

Kanola yağının litre fiyatının uygun olması, setan sayısının yüksek olması ve ısı enerjisi değerinin de dizel yakıtı çok yakın değerlerde olması, dizel motorlarda kullanılabilirliğini cazip kılmaktadır.

6.2 Elektrik Üretim Maliyetlerinin Analizi

Bu bölümde, üretimi gerçekleştiren yakıtların, dizel bir jeneratörde yakıt olarak kullanılması ile elde edilen elektrik enerjisinin üretim maliyetinin tespitidir. Bu tespiti yapılan değerler dizel yakıtın değerleri ile kıyaslanarak, 1kW elektrik üretimi için en ekonomik yakıtın tespiti yapılmıştır. Test yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, motorun termik veriminin en yüksek olduğu tam yük şartlarındaki yakıt tüketim değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda daha önceki bölümde tespiti yapılan Özgül yakıt Tüketimi (gr/kWh) değerleri baz alınmıştır. (ÖYT) değerleri hesaplanırken, 1 kW elektrik üretebilmek için kullanılan yakıtın gram cinsinden tespiti yapılmıştır. Kütleli olarak ölçümü yapılan yakıt tüketimi değerleri, hacimsel tüketime dönüştürülerek lt/kW birimi üzerinden hesaplama gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtın ve üretilen biyodizellerin fiyatları bilindiği için harcanan litre fiyatı TL'ye dönüştürülmüştür. Bu tespitlere ilişkin veriler Tablo 9 'da sunulmuştur.

Tablo 9. Yakıt numunelerinin birim enerji üretimindeki maliyetleri

Yakıt türü	Üretim Maliyeti (TL)
Dizel	2.12
KYB5	2.11
KYB10	2.10
KYB20	2.16
SYB5	2.16
SYB10	2.21
SYB20	2.26
AAYB5	2.09
AAYB10	2.05
AAYB20	1.99

Test yakıtları içerisinde, en düşük elektrik üretim maliyetine sahip olan yakıtın (AAYB20) olduğu, en yüksek elektrik üretim maliyetine sahip olan yakıtın ise (SYB20) olduğu tespit edilmiştir. Atık ayçiçeği yağının ısı enerjisi değerinin düşük, yoğunluk değerinin ise yüksek olması, dizel yakıtı kıyasla kütleli yakıt sarfiyatını arttırmıştır fakat (AAYB) içerikli yakıtlarının üretiminde, yağın bedelsiz temin edilmiş olması elektrik üretim maliyetinin düşük bedellerde olmasına sebebiyet vermiştir.

(KYB5), (KYB10), (AAYB5), (AAYB10) ve (AAYB20) yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, dizel yakıttan daha düşük iken (KYB20), (SYB5), (SYB10) ve (SYB20) yakıtları dizel yakıttan daha yüksek bedelde hesaplanmıştır. Kanola yağından üretilen biyodizel yakıtlarının yakıt sarfiyat değerleri her ne kadar dizel yakıttan yüksek olsa da, kanola biyodizelinin litre fiyatının, dizel yakıttan düşük olması genel maliyeti düşürmüştür. Diğer taraftan soya yağından üretilen biyodizel yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri dizel yakıtın değerlerinden yüksek çıkmıştır. Soya biyodizelinin ısı enerji değerinin düşük, yoğunluk değerinin yüksek olması küresel yakıt sarfiyatının yüksek çıkmasına sebebiyet vermiştir. Soya biyodizelinin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki eksik unsurlar elektrik üretim maliyetlerine yansımıştır.

7 Kısaltmalar

RPM	: Dakikadaki devir sayısı
KYB	: Kanola yağı biyodizeli
KYB5	: %5 oranında kanola yağı biyodizeli
KYB10	: %10 oranında kanola yağı biyodizeli
KYB20	: %20 oranında kanola yağı biyodizeli
SYB	: Soya yağı biyodizeli
SYB5	: %5 oranında soya yağı biyodizeli
SYB10	: %10 oranında soya yağı biyodizeli
SYB20	: %20 oranında soya yağı biyodizeli
AAYB	: Atık ayçiçeği yağı biyodizeli
AAYB5	: %5 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli
AAYB10	: %10 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli
AAYB20	: %20 oranında atık ayçiçeği yağı biyodizeli
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi

8 Sonuçlar

Bu çalışmada kanola, soya ve atık ayçiçeği yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilerek, %5, %10 ve %20 oranında standart dizel yakıt ile karıştırılmıştır. Üretildiği yağın ismi ve hacimsel karışım oranı dikkate alınarak, bu yakıt numuneleri (KYB5), (KYB10), (KYB20), (SYB5), (SYB10), (SYB20), (AAYB5), (AAYB10) ve (AAYB20) şeklinde isimlendirilerek yeni yakıt numuneleri oluşturulmuştur. Bu yakıtların teknik özellikleri ölçülerek standartlara uygunluğu araştırılmıştır. Bu yakıtların fiziksel ve kimyasal olarak dizel bir motorda kullanılabilirliği tespit edildikten sonra, dizel bir jeneratörde sabit hız ve değişken yük şartlarında performans ve emisyon karakteristikleri yönünden test işlemine tabi tutulmuştur. Bu değerler, standart dizel yakıtın değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Biyodizel içerikli test yakıtlarının vizkozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek, ısı enerji değerinin ise düşük değerlerde olması, standart dizel yakıtı göre (ÖYT) değerlerinin yüksek çıkmasına sebep olduğu yönünde değerlendirme yapılmıştır. Biyodizel yakıtları kendi aralarında kıyaslandığında, en iyi motor performansın (KYB) içerikli test yakıtlarında elde edildiği tespit edilmiştir. Kanola biyodizelinin alt ısı enerji değerinin, diğer biyodizellere göre daha yüksek olması, bu duruma sebep olarak gösterilebilir. Kanola yağının litre fiyatının uygun olması, setan sayısının yüksek olması ve ısı enerji değerinin de dizel yakıtı çok yakın değerlerde olması, dizel

yakıtı büyük alternatif olmasını sağlamaktadır.

Çevre açısından en tehlikeli emisyonlar olan CO, HC ve Duman emisyonları, dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranının artması ile beraber düştüğü görülmüştür. En düşük CO, HC değerlerinin (SYB20), duman emisyonu değerinin (KYB20) yakıtının kullanılmasında gerçekleştiği gözlenirken, en yüksek değerlerin ise oksijen içeriğinden yoksun dizel yakıt kullanımında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtlarının setan sayısının ve oksijen içeriğinin yüksek olması, yanma performansına olumlu katkı sağladığı ve bu sebeple CO, HC ve duman (is) emisyonlarının standart dizel yakıtı kıyasla daha düşük çıktığı değerlendirilmiştir.

Biyodizel içerikli yakıtların kullanılması ile NOx ve egzoz çıkış sıcaklık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Standart dizel yakıtı ilave edilen biyodizel yakıtının yanma sürecinde bir katalizör görevi üstlendiği ve içeriğinde bulundurduğu oksijen ile yanma performansına ek bir katkı sağladığı değerlendirilmiştir.

Yanma performansındaki iyileşme silindir içi basınç ve sıcaklık değerini arttırmıştır. Silindir içi sıcaklık NOx emisyonlarının oluşumuna zemin hazırlamıştır.

Üretilen biyodizel yakıtlarının, üretim maliyetlerine ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Bu fiyatlandırmalar perakende fiyatlar üzerinden oluşturulmuş olup, toptan fiyatlar üzerinden daha da düşeceği değerlendirilmiştir. 1.67 TL'lik bir tutar ile en düşük yakıt üretim maliyetinin atık ayçiçeği biyodizelinde tespit edilirken, bu değer kanola biyodizelinde 4.34TL, soya biyodizelinde 4.87TL olarak hesaplanmıştır. Kanola yağının litre fiyatının uygun olması, setan sayısının yüksek olması ve ısı enerji değerinin de dizel yakıtı çok yakın değerlerde olması, dizel motorlarda kullanılabilirliğini cazip kılmaktadır.

Üretilen biyodizel yakıtlarının dizel bir jeneratörde kullanılması neticesinde elde edilecek elektrik üretim maliyetleri de ayrıca hesaplanmıştır. Test yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, motorun termik veriminin en yüksek olduğu tam yük şartlarındaki yakıt sarfiyat verileri üzerinden hesaplanmıştır. Bu hesaplamada test yakıtları içerisinde, en düşük elektrik üretim maliyetine sahip yakıtın (AAYB20) olduğu, en yüksek elektrik üretim maliyetine sahip yakıtın ise (SYB20) olduğu tespit edilmiştir. (KYB5), (KYB10), (AAYB5), (AAYB10) ve (AAYB20) yakıtlarının elektrik üretim maliyetleri, dizel yakıtı daha düşük iken (KYB20), (SYB5), (SYB10) ve (SYB20) yakıtlarının standart dizel yakıtı daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Lapuerta, M., Armas, O., and Rodriguez-Fernandez, J., 2008. effect of biodiesel fuels on engine emissions, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 198-223.
- [2] Mazed, M.A., 1984. Test of vegetable oil as fuel in direct and indirect injection diesel engine, PhD.Thesis, Oklahoma State University, ABD.
- [3] Behçet, R. ve Çakmak, A.V., 2011. Bir dizel motorda yakıt olarak kullanılan balık yağı metil esterleri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs, Elazığ, Turkey, 161-165.
- [4] Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çakır, C. and Şahin, F., 2010. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine, *Renewable Energy*, 35, 637-643.
- [5] Altun, Ş., 2009. Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [6] Budak, N., Bayındır, H., ve Yücel, H.L., 2009. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi, V. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu Diyarbakır 123-130.
- [7] Gomez, M.E.G., Howard-Hildige, R., Leahy, J.J., O'Reilly, T., Supple, B. and Malone, M., 2000. Emission and performance characteristics of a 2 liter Toyota Diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel, *Environmental Monitoring and Assessment*, 65, 13-20.
- [8] Arpa, O., Yumrutaş, R. ve Kaşka, Ö., 2008. Atık motor yağından elde edilen dizel benzeri yakıtın motor performans ve eksoz emisyonu üzerindeki etkisinin incelenmesi, VII. Ulusal Temiz enerji Sempozyumu, 17-19 Aralık, İstanbul, 293-304.
- [9] Aksoy, F. ve Yılmaz, E., 2019. %10 balık yağı biyodizeli-%90 dizel yakıt karışımı ile çalışan direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yanma ve performans karakteristiklerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part c*, 7(1): 12-24.
- [10] Radhakrishnan, S., Babu- Munuswamy, D., Devarajan, Y. And Mahalingam, A., 2019. Performance, emission and combustion study on neat biodiesel and water blends fuelled research diesel engine, *Heat and Mass Transfer*, 55, Issue 4, 1229-1237.
- [11] Güler, K., 2008, *Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi*, S.D.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta, Yüksek Lisans Tezi.
- [12] Keskin, A., Gürü, M. and Altıparmak, D., 2007. Biodiesel production from tall oil synthesized Mn and Ni based additives: effects of the additives on fuel consumption and emissions, *Fuel*, 86, 1139-1143.
- [13] Ali, Y., and Hanna, M.A., 1994, *Physical Properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blends*, *Bioresource Technology*, 47, 131-134.
- [14] Pugazhvadivu, M. and Jeyachandran, K., 2005, *Investigations on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Preheated Waste Frying Oil as Fuel* *Renewable Energy*, 30, 2189-2202.
- [15] Usta N., 2005. An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester, *Energy Conversion and Management*, 46, 2373-2386.
- [16] Altıparmak D., Keskin A., Koca A. And Gürü M., 2007. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends, *Bioresource Technology*, 98, 241-246.
- [17] Lapuerta, M., Rodriguez-Fernandez, J. and Agudelo, J.R., 2008. Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel, *Bioresource Technology*, 99, 731-740.
- [18] Puhana, S., Vedaramana, N., Rama, B.V.B., Sankarnarayanan, G. and Jeychandran, K., 2005. Mahua oil (madhuca indica seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, *Biomass and Bioenergy*, 28, 87-93.



RISK ANALYSIS FOR THE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ANALYSIS OF SOLID WASTE ORGANIZED STORAGE FACILITIES-BİNGÖL EXAMPLE

Mehmet Sıddık Baki^{*1}, Mine Şene², Bilgin Şene²

¹Directorate of Water and Canal Services, Bingöl Governorship, Bingöl, Turkey.

²Fethiye Faculty of Business Administration, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Turkey.

Abstract

Original scientific paper

As a result of the studies, in Turkey and the world of work accidents and occupational diseases has emerged as a major issue. Not enough attention to occupational health and safety, lack of occupational health and safety awareness throughout the employees, long working hours, intense work pace, lack of personal protective equipment, inexperience and lack of training/information are the leading causes of occupational accidents.

It has been observed that occupational accidents occur at a high rate due to reasons such as long working hours, intense work tempo, inexperience and lack of education / information among the people working in solid waste landfill facilities. From this point of view, it is aimed to determine the hazards that may be encountered in the storage operations in solid waste facilities and to bring the hazards to an acceptable level as a result of the risk assessment.

In this context the conceptual framework of occupational health and safety at work, health and safety practices of the general procedures of the subject areas of the literature was conducted in Turkey. Then, it is aimed to determine occupational health and safety risks in storage works in solid waste facilities and to determine what kind of measures can be taken against these risks. In this direction, to determine the hazards and risks encountered in solid waste sanitary landfill operations, error types and impact analysis method were used and risk assessment studies were made and solution suggestions were developed.

Keywords: Solid waste, Storage, Failure mode and effects analysis

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMALI TESİSLERİNDE HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ YÖNTEMİYLE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN RİSK ANALİZİ-BİNGÖL ÖRNEĞİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Yapılan araştırmalar neticesinde, Dünyada ve Türkiye’de iş kazaları ve meslek hastalıkları çok önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğine yeterince önem verilmemesi, çalışanların genelinde iş sağlığı ve güvenliği bilincinin bulunmaması, uzun çalışma saatleri, yoğun iş temposu, kişisel koruyucu kullanmama, tecrübesizlik ve eğitim/bilgi eksikliği, iş kazaların sebeplerin başında gelmektedir.

Katı atık düzenli depolama tesislerinde çalışan kişilerin de uzun çalışma saatleri, yoğun iş temposu, tecrübesizlik ve eğitim/bilgi eksikliği gibi nedenlerden dolayı iş kazalarının yüksek oranda yaşandığı gözlemlenmiştir. Çalışmada bu noktadan hareketle katı atık tesislerinde depolama işlemlerinde karşılaşılabilecek tehlikelerin belirlenerek risk değerlendirmesinin oluşturulması sonucu tehlikelerin kabul edilebilir seviyeye getirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada iş sağlığı ve güvenliğinin kavramsal çerçevesini, iş sağlığı ve güvenliğinin genel prosedürlerini Türkiye’deki uygulamalarını konu alan literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra ise katı atık tesislerinde depolama işlerinde iş sağlığı ve güvenliği risklerinin saptanması ve bu risklere karşı ne tür tedbirler alınabileceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda katı atık düzenli depolama işlemlerinde karşılaşılan tehlike ve riskleri saptamak için hata türleri ve etki analizi yöntemi kullanılıp risk değerlendirmesi çalışması yapılarak çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katı atık, Depolama, Hata türleri ve etki analizi

1 Giriş

Günümüz sanayi dünyasındaki ilerlemeler, tarihten bugüne farklılık gösteren ve artan tüketim düşüklüğü, nüfus artışları, planlı olmayan kentleşme ve doğal olan kaynakların istenmeyen şekilde harcanması gibi nedenler çevresel sisteme zarar vererek negatif sonuçlara neden olmaktadır. Atıklar çevresel kirliliğinin nedenlerinin başında gelmektedir. Atık sorunu planlı olmayan şehir yapılaşması nüfusun artışıyla bir araya gelmesinden ortaya çıkmaktadır. Habitat kaynaklarının yetersiz olması, atıkların doğaya bilinçsiz bir şekilde bırakılması kurtarılamaz doğa kirliliğine neden olmaktadır. Doğal olan kaynaklarda erken tüketme ve kirlileme, diğer yönden

doğadaki sistemdeki her canlı yaşamı negatif olarak etkilemektedir.

Çeşitli kaynaklardan farklı atık oluşabilmektedir. Atık çeşitlendirmesine göre, katı, evsel olan, inşaatlardan moloz atıklar, endüstri kaynaklı sanayi atığı ve tehlikeli olan kalıntılar gibi sınıflandırmaları olabilmektedir. Ev kaynaklı çıkan atıklar tehlikeli ve doğaya zarar vermeyen atıklar şeklinde olabilmektedir. Yapı işlerinden, evlerdeki yenilemelerden meydana çıkan taşlar, kereste, çelik gibi sonuçlu atıklar inşaat moloz atığı kategorisine girmektedir. Endüstriden çıkan katı atıklar, sanayi ve türlü imalat tesislerinde meydana gelebilen insana ve çevreye zararlı olabilecek tehlikeli türdeki atıklar olmaktadır. Sağlık alanlarındaki, klinik ve muayenehane gibi merkezlerdeki

* Corresponding author.

E-mail address: mesbaki@hotmail.com (M. S. Baki) | ORCID Number : 0000-0001-7276-2045

Received 03 November 2020; Received in revised form 03 December 2020; Accepted 03 December 2020

2587-1943 | © 2020 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.820420>

atıklar ilaçlar, tıbbi malzemeler, operasyon ve tedaviler esnasında çıkabilen sonuçlar olarak, tıbbi atıklar şeklinde değerlendirilmektedir.

İş kazaları ve meslek kaynaklı hastalıklara yakalanmamak, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) gerçeklerine dikkat etmek ve uygulamakla mümkün olmaktadır. Dizayn edilen ve inşa edilmesi planlanan çalışma alanının çalışanlar üzerindeki negatif etkilerinin bulunmaması için değişik üretimsel etkinlikler planlaması İş Sağlığı ve Güvenliği kültüründeki asıl amacı oluşturmaktadır [1].

İşyerlerinde türlü sıkıntılar zararlı olmayan oranlara çekilebilir veya tamamı ortadan kaldırılarak asıl hedeflenen kabul edilebilir risk seviyesine getirilir. Bu amaçla iş mahallindeki risk değerlendirme çalışmaları doğrultusunda sağlık için aykırılıkların ve ters hususların ele alınması, çalışanların iş bölgelerinde koşullarının iyi olması, etkin eğitim sürekliliği ve tüm bunların bir denge içerisinde olması gereklidir.

İş Sağlığı ve Güvenliği aşağıdaki kavramlara dayanmaktadır:

- Tehlike tanımlama: Bir örgünün var olduğunu tanıma süreci; insan yaralanması veya kötü sağlık açısından zarar verme potansiyeli olan kaynak veya durum.
- Risk değerlendirmesi: Tehlikeden kaynaklanan riski değerlendirme süreci; tehlikeli bir olayın veya maruz kalma olasılığının ve maruz kalmanın neden olabileceği yaralanma veya kötü sağlık şiddetinin birleşimi.
- Uygulanabilir kontrollerin belirlenmesi: Riski kabul edilebilir bir düzeye getirmek veya azaltmak için ilgili önlemler. Önlemler, kontrol önlemleri hiyerarşisine dayanmaktadır.

Sağlık sistemine ulaşmak ve etkin iş güvenliği için, kuruluşların bunları daha anlamlı bir şekilde ele almaları hayati önem taşımaktadır. Yukarıdaki üç husus, iyi bir İş Sağlığı ve Güvenliği sisteminin uygulanması için giderek daha önemli hale gelmektedir ve altyapı olmaksızın, tüm sistem kesinlikle başarısız olacaktır. Onlar, teoride, "plan" aşamasının bir parçası olarak kabul edilir, ancak denetçilerin ve danışmanların çoğu, sistemi bir bütün olarak tasarlamadan önce bu konuların ele alınması gerektiği konusunda hemfikirlerdir.

OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series) 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Standardı, PUKÖ döngüsü (Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al) adı verilen bir araç yönetimi yaklaşımı kullanır. PDCA (Plan-Do-Check-Act) bir kuruluşun üst yönetim liderliği ve sistem güvenlik yönetimine bağlılığı temel olarak sağlık ve güvenlik politikalarını oluşturmaya, uygulamasına ve sürdürmesine olanak tanıyan, devam eden bir süreçtir.

Planla: İşletmenin İş sağlığı ve güvenliği açısından en doğru hedeflere ulaşması için planlar hazırlamak.

Uygula: Süreci uygulayın.

Kontrol et: İş Sağlığı ve Güvenliği politikası, hedefleri, yasal ve onun gibi başka politikalara göre performansın izlenmesi ve ölçülmesini sağlayın.

Önlem al: İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmalarını devamlı yükseltmek için harekete geçin.

Standart herhangi bir kuruluşa veya sadece bir kısmına dağıtılabılır. En iyi sonuçlar, tüm kuruluşun aynı sistem üzerinde çalışmasına ve İş Sağlığı ve Güvenliği politikasının kuruluşun diğer yönetim sistemlerine ve kültürüne entegre edilmesi ile elde edilir.

Planla

Sürecin planlama aşaması kuruluşun şunları yapmasını gerektirir:

- Bir İş Sağlığı ve Güvenliği politikası oluşturmak.
- Tehlikelerin tanımlanması, risk değerlendirmesi ve kontrollerin belirlenmesi için plan yapın.
- İlgili yasal gereklilikleri belirlemek.
- Acil durumlar ve yanıtlar için plan yapın.
- Değişimi etkin bir şekilde yönetin.
- Performans ölçme, izleme ve iyileştirme prosedürleri geliştirin.
- Güvenlik ekipmanının uygun kullanımını sağlamak ve sağlamak.
- Bir İş Sağlığı ve Güvenliği kültürünü tanıtmak ve kuruluşun güvenlik beyanı, politikaları ve hedeflerinin önemini belirlemek için eğitim.
- Çalışanlara danışın ve iletişim kurun.

İlk olarak, yeni sistemi desteklemeye ve sürekli ilerlemeye güven duymak için yönetime danışılmalıdır. Daha sonra işgücüne danışılmalıdır. Alt düzey çalışanların yeni sistem hakkında değerli bilgi, fikir ve görüşlere sahip olması muhtemeldir. Ondan en çok etkilenecekleri için, değişim ihtiyacına inanmalarını ve anlamalarını sağlamak mantıklıdır. Bu hususların farkına varmazsanız, kuruluş genelinde çok fazla direnç ortaya çıkabilir ve bu nedenle yalnızca çalışması pratik olmayan bir sistem ortaya çıkabilir.

Uygulama aşaması bu sürecin en kolay kısmı olmalıdır. Planlama aşaması doğru şekilde yapılırsa, bu sadece oluşturulan dokümantasyon ve prosedürleri takip etme meselesidir. Uygulama liderliğini sağlamak için, sürecin her ögesinin bir sahibi veya sistemle ilgilenen bir kişi olması gerekirken, üst düzey bir yönetici yeni sistemden sorumlu olmalıdır. Bu, kuruluşunuz için uygun yapıyı sağlar ve riski etkili bir şekilde en aza indirir.

Uygulamayı, bir bütün olarak ele almak için sistemi belirli elemanlara ayırarak başlatmanız önerilir. Mantıksal bir sırada belirli öğelere odaklanmak, tüm sistemin verimli çalışması için sağlam bir temel oluşturur. Sağlık ve güvenliğin bir diğer önemli yönü de çalışanların becerilerine uygun işleri yapmalarını sağlamaktır. Tüm personel gruplarını ve onların gerekli becerilerini gösteren bir matris oluşturulmalıdır. Eğitim ve her birinin beceri durumu. Bu resmi prosedürler kuruluşunuzda gerekli bilinci aşılamalıdır.

Kontrol et

PUKÖ döngüsünün üçüncü adımı aşağıdakilerden oluşur:

- İç denetimlerin yapılması.
- Yasal uygunluğun değerlendirilmesi.
- Uygunsuzlukları belirleme ve bunlara hitap etme.
- Olayların ve arızı verilerin kapsamlı analizi.
- Performans ölçümü ve izleme

İç denetimlerin periyodik olarak yapılmaması büyük olasılıkla sistemin bir bütün olarak bozulmasına neden olur. Çoğu zaman kontrolün olmadığı yerlerde, risklerin özellikle hızlı bir şekilde ortaya çıkma eğilimi vardır.

Herhangi bir uygunsuzluk, oluşturulan düzeltici önlemler kullanılarak anında ele alınmalıdır. En etkili ve sağlam sistemler, bu sürecin her zaman sorunsuz bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu, bu işlemin performansının da ölçülmesi gerektiği anlamına gelir.

Organizasyonun düşünmesi gereken sadece uygunsuzluklar değildir. Kuruluşun potansiyel acil durumları tanımlaması ve müdahale ile ilgili prosedürler geliştirmesi çok önemlidir, buna önleyici eylem denir.

Son adım çalışma ortamının gözetimi ve denetimi ile elde edilen verilere uygun iyileştirilmelerin yapılmasıdır, bu da sürekli iyileştirme sürecinin hayati bir parçasıdır. Bu nedenle standardın kendisi gerekli incelemede hangi hususlara dikkat edilmesini kendisi özetler.

Yönetimin gözden geçirilmesi üst yönetim tarafından yürütülür ve sistemin uygunluğunun, yeterliliğinin ve etkinliğinin gözden geçirilmesidir. Ayrıca iyileştirme fırsatları, İş Sağlığı ve Güvenliği politikası ve İş Sağlığı ve Güvenliği hedeflerinin değiştirilmesi ihtiyacının değerlendirilmesini de içermelidir. Değişiklikler gereklidir, üst yönetim de uygulama için gerekli kaynakları sağlamalıdır. Kaynak sağlamak, yeni sağlık ve güvenlik sistemine bağlılık göstermenin bir yoludur. İş yaparken meydana gelen yaralanmalar, meslek kaynaklı hastalıklar çalışma hayatındaki en çok karşılaşılan sorunlardır.

Çoğunlukla küçük ve orta ölçekli firmaların yoğunlukta olduğu ülkemizde çalışma şartlarının uygun hale getirilmesi, eğitim, denetleme sistemlerinde beklenen düzeyde meydana çıkmaması, iş kazaları üzerinde yükselten bir etkiye sahiptir. Kayıt dışı işçilerin uğradığı kaza vakaları kayıt altına alınmadığından, kaza verilerinin doğruluğu tartışılmaktadır. İş kazaları ilgili araştırmalara müsaade etmemekte, hatta bırakmamaktadır.

2 Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)

Hasar, bir ürün veya elemanın, belirlenen ömrü boyunca fonksiyonunu (kendisinden beklenen amacı ve performansı) yerine getirememesidir. Başka bir deyişle, işe yaramama durumudur ve müşteri memnuniyetsizliğinin başlıca nedenidir. Hasarın sebebi olan hata ise tatmin etmeyen performanstır. Hata Türü; hatanın kendini belli etme şekli; bir kişi veya ekipmanın görevini yapmadığı durum olarak kabul edilebilir. Hata etkisi, nedenin sonucu; bir hata oluştuğunda sistemi ya da müşteriyi nasıl etkileyeceğidir. Hata sebebi ise hatanın oluşmasını sağlayan olumsuz durumdur. Özetle HTEA, sistemli olarak konan bir erken tanıdır.

Süreç, ürün veya hizmet ve müşteri ihtiyaçları hakkında çeşitli bilgilere sahip, çapraz işlevli bir ekip oluşturun. Genellikle dahil edilen işlevler şunlardır: tasarım, üretim, kalite, test, güvenilirlik, bakım, satın alma (ve tedarikçiler), satış, pazarlama (ve müşteriler) ve müşteri hizmetleri.

HTEA'nın kapsamını belirleyin. Kavram, sistem, tasarım, süreç veya hizmet için mi? Sınırlar nelerdir? Ne kadar ayrıntılı olmalıyız? Kapsamı tanımlamak ve her ekip üyesinin bunu ayrıntılı olarak anladığından emin olmak için akış şemalarını kullanın.

Kapsamınızın işlevlerini tanımlayın. "Bu sistemin, tasarımın, sürecin veya hizmetin amacı nedir? Müşterilerimiz bunun ne yapmasını bekliyor?" Bir fiilin ardından bir isim verin. Genellikle kapsam ayrı alt sistemlere, öğelere, parçalara, montajlara veya işlem adımlarına bölünür ve her birinin işlevini tanımlar.

Her işlev için hatanın oluşabileceği tüm yolları tanımlayın. Bunlar potansiyel hata türleridir. Gerekirse, hata türlerinin bu işlevin kaybını gösterdiğinden emin olmak için geri dönün ve işlevi daha ayrıntılı bir şekilde yeniden yazın.

Her hata türü için sistem, ilgili sistemler, süreç, ilgili işlemler, ürün, hizmet, müşteri veya düzenlemelerdeki tüm sonuçları tanımlayın. Bunlar başarısızlığın potansiyel etkileridir. Bu hata nedeniyle müşteri ne yaşar? Bu hata oluştuğunda ne olur?

Her etkinin ne kadar ciddi olduğunu belirleyin. Şiddet derecesi S ile gösterilir. Şiddet genellikle 1'den 10'a kadar bir ölçekte derecelendirilir; burada 1 önemsizdir ve 10 felakettir. Bir hata türünün birden fazla etkisi varsa, HTEA tablosuna bu hata türü için yalnızca en yüksek önem derecesini yazın.

Her hata türü için tüm olası temel nedenleri belirleyin. Neden analizi araçları olarak sınıflandırılan araçları ve ekibin en iyi bilgi ve deneyimini kullanın. HTEA formunda her hata türü için olası tüm nedenleri listeleyin.

Her bir sebep için, oluşum ihtimalini (O) belirleyin. Bu derecelendirme, kapsamınızın ömrü boyunca bu nedenle meydana gelen arıza olasılığını tahmin eder. Oluşma genellikle 1'den 10'a kadar bir ölçekte derecelendirilir, burada 1 çok düşüktür ve 10 kaçınılmazdır. HTEA tablosunda, her nedenin oluşum derecesini listeleyin.

Her neden için, geçerli işlem denetimlerini tanımlayın. Bunlar, arızaların müşteriye ulaşmasını önlemek için şu anda uyguladığımız testler, prosedürler veya mekanizmalardır. Bu kontroller, nedenin gerçekleşmesini önleyebilir, bunun gerçekleşme olasılığını azaltabilir veya neden gerçekleştikten sonra ancak müşteri etkilenmeden önce başarısızlığı algılayabilir.

Her kontrol için algılama derecelendirmesini (D) belirleyin. Bu derecelendirme, kontrollerin nedeni veya hata türü gerçekleştikten sonra ancak müşteri etkilenmeden önce ne kadar iyi algılayabileceğini tahmin eder. Tespit genellikle 1 ila 10 arasında bir skalada derecelendirilir; burada 1, kontrolün sorunu tespit etmek için kesinlikle kesin olduğu ve 10 kontrolün sorunu tespit etmeyeceğinden (veya kontrol olmadığı) emin olduğu anlamına gelir. HTEA tablosunda, her neden için algılama derecelendirmesini listeleyin.

Birçok endüstri için isteğe bağlı bu hata türü; güvenliği, devlet düzenlemelerine uyumu yansıtan ve özel kontrollere ihtiyaç duyan ölçümler veya göstergeler gibi.) kritik bir özellikle ilişkili mi? Bu ilişki, etiketli bir sütuna özel kontrollere gerek olup olmadığını göstermek için evet veya hayır olarak verilir. Genellikle, kritik özellikler 9 veya 10'luk bir şiddete ve 3'ün üzerinde oluşum ve tespit derecelerine sahiptir.

Risk önceliği sayısını veya $S \times O \times D$ 'ye eşit olan RÖG'yi hesaplayın. Ayrıca, ciddiyeti oluşumla, $S \times O$ çarpımıyla çarparak kritikliği hesaplayın. Bu sayılar, olası arızaları ele alınması gereken sıraya göre sıralamak için rehberlik sağlar.

Önerilen işlemleri belirleyin. Bu eylemler, ciddiyeti veya oluşumunu azaltmak için tasarım veya süreç değişiklikleri olabilir. Algılamayı geliştirmek için ek kontroller olabilirler. Ayrıca, eylemlerden ve hedef tamamlama tarihlerinden kimin sorumlu olduğunu da unutmayın.

İşlemler tamamlandığında sonuçları ve HTEA formundaki tarihi not edin. Ayrıca, yeni S, O veya D derecelendirmelerine ve yeni RÖG'lere dikkat edin.

3 Materyal ve Metot

Katı düzenli depolama tesisi ve bununla beraber bu atıklardan enerji üreten bir tesisin İşçi Sağlığı ve Güvenliği daha da önemli hale gelmiştir. Bu nedenle çalışmamızda bu tesisin daha sağlıklı çalışabilmesi ve burada çalışanların kazalardan korunması için HTEA yöntemi kullanılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi ve çözüm önerilerinin üretilmesi amaçlanmıştır. Bingöl kent merkezinde toplanan çöplerin 17 yıl boyunca sanayi bölgesine döküldüğünü ve 2013 yılında itibaren de çöplerin düzenli çöp depolama alanına dökülmektedir.

Bingöl Belediyesi Çevre Hizmetleri Birliği tarafından yapılan düzenli çöp depolama alanı ile daha önceleri vahşi depolama ve sağlıksız yapılan çöp depolamadan düzenli depolamaya geçilmiştir. Bingöl'de günlük olarak 120 ton, aylık 3 bin 600 ton, yıllık ise 43 bin 800 ton civarında çöp depolanıyor. Şehir merkezinde kamyonlar ile toplanan çöpler düzenli depolama alanına götürülüyor.

2017 yılında Bingöl Belediyesi, özel bir firma ile anlaşma yapılarak katı atık düzenli depolama sahasında, saha işletmesi, ön ayrıştırma, bütünleşmiş tesis, çöpten enerji üretimi ve çürütme tesisi kurulması çalışmalarını başlattı. Öncelikle katı atık depolama alanında çalışan enerji firması, çöpün üstüne toprak ile örtüyor. Çalışmalar kapsamında çöpün içerisinden gazın alınması sistemi döşenmiş, su drene kanalları yapılmış, kül stok alanı toprak örtüsü ile kaplanmış, enerji santrali kurulumu, gaz toplama balonu, gaz yıkama ünitesi, ayrıştırma üniteleri kurulum çalışmalarının tamamlanmasıyla, fermantasyon yöntemiyle elektrik enerjisi üretilmesi için bütün altyapı

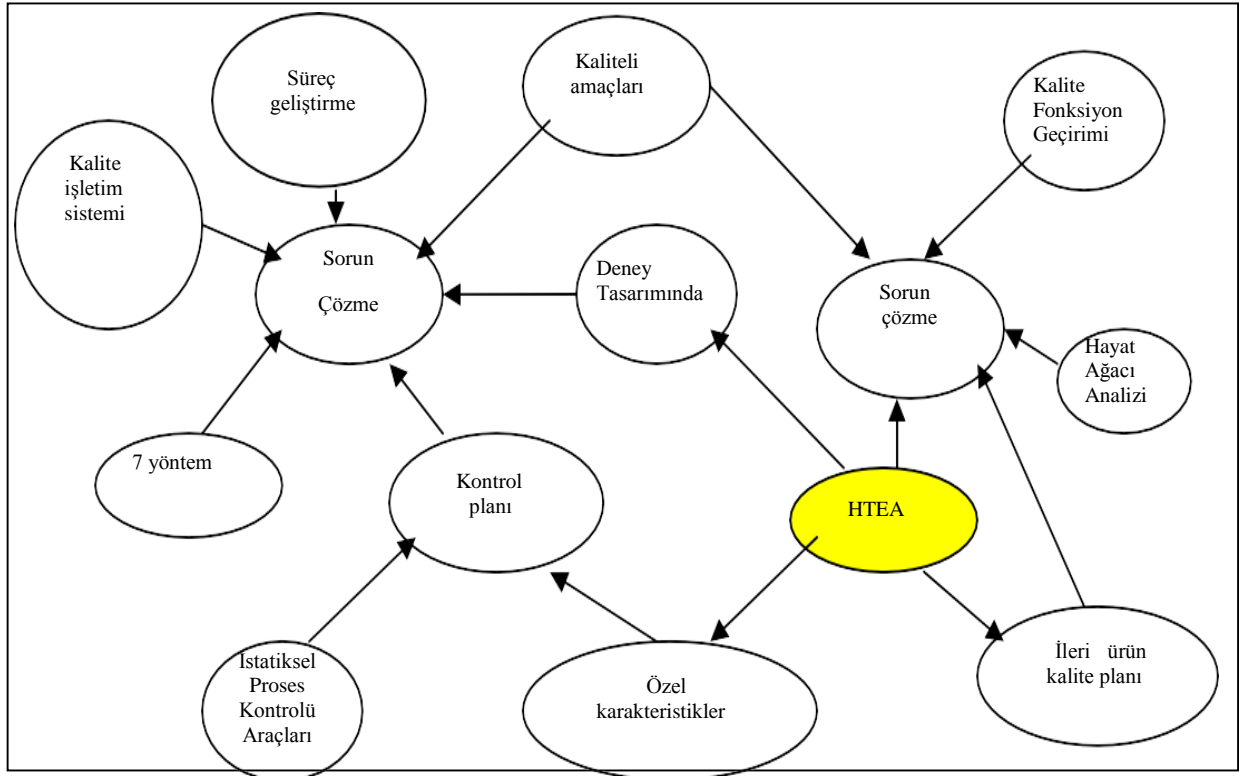
hazırlanmış durumdadır ilk etapta 1 MW enerji üretilmesi için gerekli bütün çalışmalar tamamlanmıştır. Direk olarak 20 personel, dolaylı olarak 40 personelin çalıştığı bir tesisin iş ve işçi sağlığı ve güvenliği açısından önemi ve önlemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Bu araştırmamızda HTEA yöntemiyle riskleri kabul edilebilir sınırlara çekmeye yönelik çalışmalar yapıldı. Risk analizi yaparken tehlikenin sebep olduğu kazanın sonuçları ve ihtimali dikkate alınmıştır. Bu sayede alınması gereken önlemler belirlenmiş, meydana çıkabilecek sonuçları gözlemlenmiş ve önlemler belirlenmiştir. Şekil 1'de toplam kalite sisteminde HTEA'nın yeri verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada örnek risk değerlendirme çalışması da yapılmıştır. HTEA sahip olduğu yeni düşünce anlayışıyla hataların önlenmesine yönelik toplam kalite sisteminin güçlü bir yöntemidir. Şekil 2'de ise HTEA akış şeması verilmiştir.

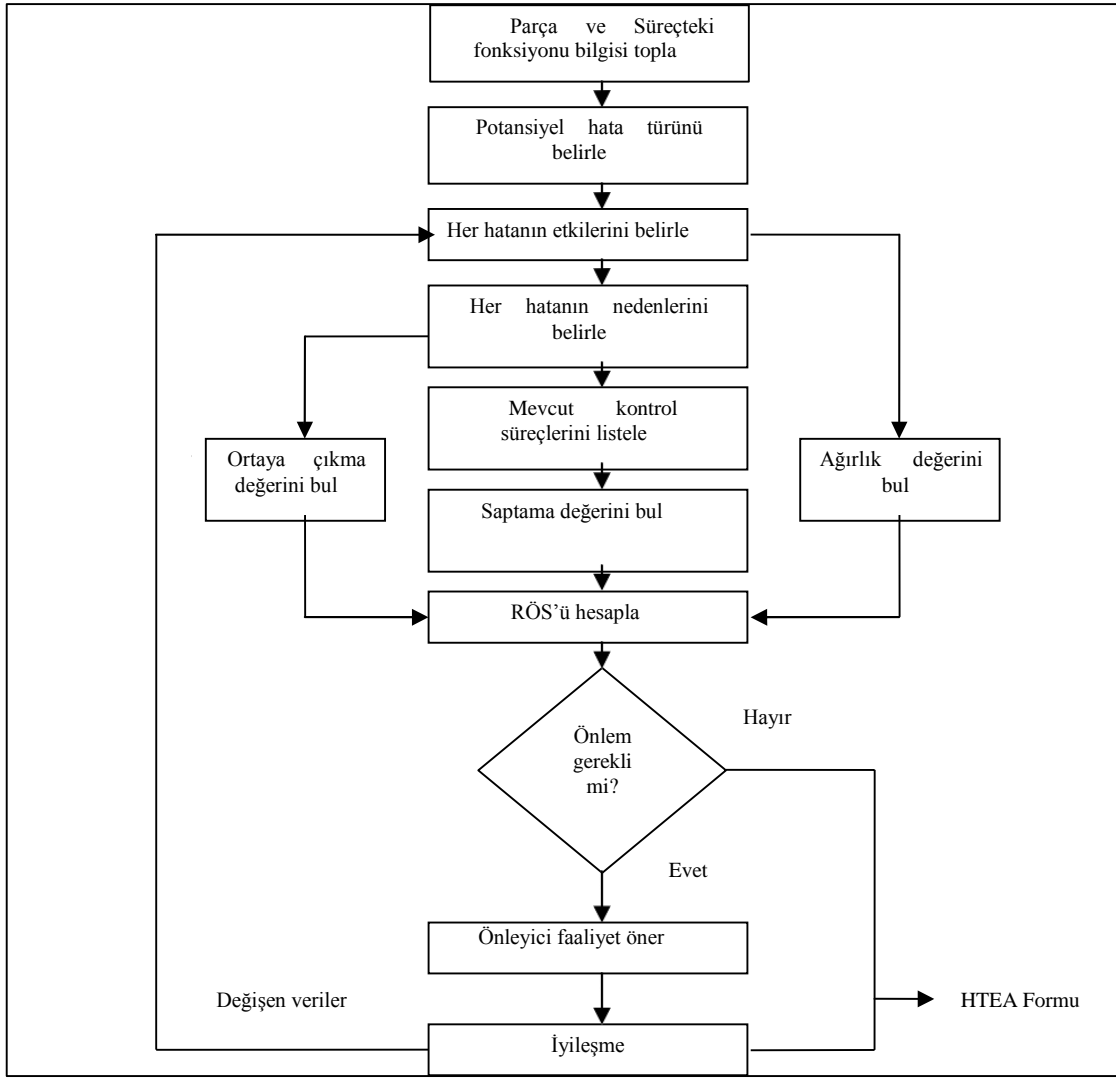
Hata türü ve etkileri analizinde, öncelikle Birincil Risk Analizi (PRA) yöntemi kullanılarak olası riskler belirlenip HTEA yöntemiyle belirlenen olası riskler derecelendirilerek Risk Öncelik Katsayısı (RÖS) hesaplaması yapılır. RÖS yüksek olan riskten düşük olan riske doğru alınacak önlemler sırasıyla belirlenerek risk derecesi düşürülür.

P, S, D, RÖS, harfleriyle gösterilen sembollerin anlamları aşağıda verilmiştir:

- P: Her bir zarar türünün oluşma olasılık değeri;
- S: Zararın ne kadar önemli olduğunun değeri, şiddet,
- D:Zarar meydana getirecek durumun keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesi,
- RÖS: Risk öncelik sayısı RÖS değeri P, S ve D değerlerinin çarpımıyla elde edilir.
- RÖS= P (olasılık) x S (şiddet) x D (fark edilebilirlik).



Şekil 1 Toplam kalite sisteminde HTEA'nın yeri [2]



Şekil 2. HTEA akış şeması [3]

Tablo 1'de S değeri-zararın şiddeti derecelendirme tablosu, Tablo 2'de P değeri-zararın oluşma olasılığı derecelendirme tablosu, Tablo 3'de ise D değeri-fark edilebilirlik derecelendirmeleri verilmiştir.

Olası risk yapısına göre standart değerler bu tablolardan seçilmektedir. Analizler bu önlemlere göre

yapılmakta ve sonuçlar risk tablosuna kaydedilmektedir. HTEA metoduyla yapılan çalışmanın faydası; sistemdeki aksaklıklar ve sistem çalışması hakkında bilgi sağlamaktadır. Önlemlerin alınmasından sonra yeniden RÖS değerleri hesaplanarak, hesaplanan bu değerlerin kabul edilebilir seviyede olması gerekmektedir.

Tablo 1. Şiddet Derecelendirilmesi [4]

Etki Düzeyi	Hatanın Tanımı ve Kapsamı	Puanı
Hayati Tehlike	İnsanların hayatlarını kaybetmelerine neden olabilir.	10
	Kişinin hayatını kaybetmesine neden olabilir.	9
Ciddi sağlık/güvenlik sorunu	İnsanların sağlığını/güvenliğini önemli ölçüde olumsuz etkiler.	8
	Kişinin sağlığını/güvenliğini önemli ölçüde olumsuz etkiler.	7
Sağlık/güvenliğe olumsuz etki	İnsanların sağlığını/güvenliğini olumsuz etkilemesi olasıdır.	6
	Kişinin sağlığını/güvenliğini olumsuz etkilemesi olasıdır.	5
Sağlık/güvenlik istenmeyen durum	Sağlık/güvenlik riski oluşturmaz, fakat sürecin işleyişini bozar.	4
	Sağlık/güvenlik riski oluşturmaz, fakat sürecin işleyişini aksatır.	3
Göz ardı edilebilir	Göz ardı edilebilir düzeyde, olumsuz etki yaratır.	2
Zararsız	Herhangi bir olumsuz etki yaratmaz.	1

Tablo 2. Olasılık Derecelendirilmesi [4]

Hata Olasılığı	Atfedilen Sıklık	Puanı
Çok Yüksek	Saate 1 veya daha sık	10
	Günde 5-10 kez	9
Yüksek	Günde 1-2 kez	8
	Haftada 3-5 kez	7
Olası	Haftada 1-2 kez	6
	Ayda 1-2 kez	5
Düşük	Yılda 3-5 kez	4
	Yılda 1-2 kez	3
Çok düşük	5 yılda 1	2
	10 yılda 1 veya daha seyrek	1

Tablo 2. Fark edilebilirlik Derecelendirilmesi [4]

Hatanın ve/veya Nedeninin Belirlenimi		Puanı
Neredeyse imkânsız Yüksek/Olası	Süreçten sonra bile belirlenemeyebilir.	10
Pek mümkün görünmüyor	Süreç sonuna kadar belirlenemez.	9
Olasılığı zayıf	Süreç sonuna kadar belirlenemeyebilir.	8
Çok zor	Birkaç adım süresince belirlenemez.	7
Zor	Sonraki adımın sonlarında belirlenebilir.	6
Zor değil	Sonraki adımın başlarında belirlenebilir.	5
Beklenir	Sonraki adıma geçilmeden belirlenebilir.	4
Kolay	Sonraki işlem sırasında belirlenir.	3
Çok kolay	Sonraki işlemden önce belirlenir.	2
Neredeyse kesin	Anında belirlenir.	1

En büyük RÖS değeri 1000 en düşük RÖS değeri ise 1'dir. Kabul edilebilir RÖS sınırı; işin yapısı, çalışan tecrübeleri, bütçe, çalışılan ülkeye ait yasalar ve benzeri kriterler göz önünde bulundurularak analiz edilerek üst yönetimce onaylanıp kabul edilmektedir (TSE-14798, 2013).

Kabul edilebilir RÖS değerinin hesaplanması:

Kabul edilebilir (RÖS)= Kabul edilebilir (P) x Kabul edilebilir (S) x Kabul edilebilir (D)

Çalışmada;

- Kabul edilebilir ihtimal, arada bir hata = 1/2000 alınır; bu durumda KE (P) = 4,
- Kabul edilebilir şiddet, küçük şiddet = sistemin çalışmasını yavaşlatan hata alınır; bu durumda KE (S) = 3,
- Kabul edilebilir keşfedilebilirlik, yüksek ortalama = potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın keşfedilebilirliği yüksek ortalama alınır; bu durumda KE (D)= 4 olur.
- Son durumda KE (RÖS)= 4 x 3 x 4 ise,
- Kabul Edilebilir RÖS = 48 olarak hesaplanır.

RÖS değerlerine göre önlem durumları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. RÖS (Tanık, 2019)

RÖS DEĞERİ	ÖNLEM
RÖS < 48	Önlem almaya gerek yok.
48 ≤ RÖS ≤ 100	Önlem alınabilir.
RÖS > 100	Önlem alınması gereklidir.

4 Bulgular ve Tartışma

Belirlenen risk ve tehlikelerin tümüne ait değerlendirmeler Tablo 5'de verilen şablon kullanılarak yapılmıştır. Bu değerlendirmeler aşağıda 21 madde halinde sunulmuştur.

- 1- İşçilerin aşırı sıcak havada çalışma tehlikesi sıcak çarpması sonucu yaralanma veya ölümlerine sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmıştır Rös Değerinin düşürülmesi için çalışanlar aşırı sıcak havada çalışırken sık dinlenme molaları vermeleri ve bol sıvı tüketmeleri sağlanmış olup sonuçta 5 olan olasılık katsayısının 1'e düşmesine dolayısıyla RÖS değerinin 21 olarak hesaplanmasını sağladığından sadece bu önlemin sıcak çarpmasına karşın % 80 başarı sağladığı görülmüştür.
- 2- Tesiste acil kapatma vanasının olmaması veya çalışır durumda olmaması tehlikesi patlama, veya yangın çıkmasına sebebiyet verebilmesinin Rös değeri 112 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak tankların periyodik muayeneleri sırasında acil kapatma vanasının çalışır durumda olduğu kontrol edilmesiyle, çalışmayan vanalar ivedilikle değiştirilmesine, çalışır duruma getirilmesine, tank sorumlusuna acil durumlar ile ilgili bilgi ve talimat verilmesiyle, tank alanı içerisinde kullanıma hazır yangın tüpleri bulundurulmasıyla, çalışanlara acil durumlar ile ilgili eğitim verilmesi ve tatbikatlar yapılması sağlanmış olup sonuçta 4 olan olasılık katsayısının 1'e düşmesine dolayısıyla Rös değerinin 28 olarak hesaplanmasını

sağlayacağından sadece bu önlemin yangın veya patlama ihtimalini % 75 azaltmasını sağladığı görülmüştür.

3- Tesiste deprem sensörünün olmaması tehlikesi gaz kaçağı, sızıntı, patlama, yangın çıkmasına sebebiyet verilmesinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına karşın, deprem ile oluşan yer sarsıntılarında olabilecek gaz kaçağı, yangın, patlama vb tehlikeleri ortadan kaldırmak için lng tankları üzerinde deprem sensörü olması sağlandığından 7 olan kaza olasılığının 1 düşmesiyle bu sebepten dolayı çıkabilecek patlama veya yangınlara karşı % 85 dolayında başarı sağladığı görülmüştür.

4- Tesisteki genel dağıtım pano kapağının kilitli olmaması tehlikesi yetkisiz kişilerin müdahalesi sonucu elektrik kaçağı, elektrik çarpması, yangın çıkmasına sebebiyet verebilmesinin RÖS değerinin 84 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak genel dağıtım panosunun kapağı sürekli kapalı tutulmasıyla, genel dağıtım pano üzerine gerekli uyarı levhaları asılmasıyla, yetkili elektrik personeli dışında genel dağıtım panosuna kimsenin müdahale etmemesi sağlanmasıyla, genel dağıtım panosu ve trafonun etrafı çevrilmesiyle, bu alana yangın tüpleri ve her türlü uyarı levhaları asılmasıyla çıkabilecek yangın karşı önemle alındığından olasılık 3'den 1'e düşmesini sağladığından RÖS değeri 28 olarak hesaplanmakta riskin önlenmesi % 67 oranında başarı sağladığı görülmüştür.

5- Tesisteki pano kapaklarının kilitli olmaması tehlikesi yetkisiz kişilerin müdahalesi sonucu elektrik kaçağı, elektrik çarpması, yangın çıkmasına sebebiyet verebilmesinin RÖS değerinin 105 olarak sebep olmuştur. Ancak tesis içerisinde kullanılan elektrik panolarının kapakları her zaman kapalı tutulmasıyla, yetkisiz kişilerin elektrik panolarına ulaşımı engellenmesiyle, panolar üzerine yetkili elektrik personelinin iletişi bilgileri ile gerekli uyarı levhaları asılmasıyla asıldığından çıkabilecek yangın olasılığı 5'den 1'e düştüğü dolayısıyla RÖS değeri 21 olarak hesaplandığından riskin önlenmesi % 67 oranında başarı sağladığı görülmüştür.

6- Tesiste acil durum toplanma merkezinin belirlenmemiş olması bir tehlike arz etmektedir ve bu tehlike acil durumda kargaşa çıkmasına, personele ulaşamamasına sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 112 olarak hesaplanmasına vermiştir. Ancak işyeri içerisinde tüm çalışanların kolayca ulaşabilecekleri güvenli bir bölge acil durum toplanma merkezi olarak belirlenmesi, acil durum toplanma merkezinin yeri, acil durum krokisi üzerinde tüm çalışanlara ilan edilmesi, çalışanlara acil durumlar ile ilgili bilgi ve eğitim verilmesiyle kaza çıkabilme olasılık katsayısı 4'den 1 düştüğünden riskin önlenmesi % 75 oranında başarı sağladığı görülmüştür.

7- Tesiste elektrik çarpması ölümcül tehlike arz etmekte ve RÖS değeri 105 olarak hesaplanmaktadır, Ancak gerekli önlem olarak tespit edilen jeneratör kapısı açık tutulmamalı, kilitli olmalı. Yetkili elektrikçiden başkası jeneratöre müdahale etmemeli, anahtarlar yetkili kişide bulunmalı. Jeneratör çevresinde uyarı/ikaz işaret ve levhaları bulundurulmalı. Jeneratör gövde topraklaması yapılmalı, yılda bir kez topraklama ölçümleri yapılmalı, jeneratör için ayrı bir elektrik tesisatı kurulmalı. Jeneratörün periyodik bakımları yapılmalı, bakım kartları/defteri oluşturulmalı. Kutup değiştirici şalterler kullanılmalı. Kablo yalıtımları uygun olmalı, jeneratör önünde yalıtımlı paspas yapılması ile olasılık katsayısı 7'den 1'e düşeceğinden ölümcül kazanın önlenmesinden % 86 kat başarı sağlanmış olduğu görülmüştür.

8- Parlama, alev alma tehlikesi yangın çıkmasına sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 84 olarak hesaplanmasına karşın, jeneratörün periyodik bakımları yapılmalı, bakım kartları oluşturulmalı. Yanıcı, yakıcı cisim ve malzemelerle yakıt tankının yanına yaklaşılmamalı, uyarıcı ve yasaklayıcı işaret ve levhalar jeneratör çevresine yerleştirilmeli. Yetkili elektrikçiden başkası jeneratöre müdahale etmemesiyle yangın çıkabilme olasılığın 3'den 1'e düşmesiyle RÖS değeri 28 olarak hesaplandığından riskin önlenmesi % 86 oranında başarı sağladığı görülmüştür.

Tablo 5.Katı atık düzenli depolama tesisleri ile ilgili örnek risk analizi çalışması [5]

		RİSK DEĞERLENDİRME FORMU						Analiz No					
	 ÜRETİM SAN. VE TİC.A.Ş. SGK Sicil No						Revizyon Tarihi ve No					
								Sayfa No					
SIRA NO	TELİKENİ N TANIMI (HATA TÜRÜ)	RİSK TANIMI (ETKİLER İ)	İLK DEĞERLENDİRME				ALINMASI GEREKLİ ÖNLEMLER	SORUMLU	İNDİRGENMİŞ RİSK				ÖZEL KİŞİSEL KORUYUCU DONANIM GEREKSİNİMİ VE TOPLU KORUMA TEDBİRLERİ VAR MI?
			OLASILIK	ŞİDDET	SAPTANABİLİRLİK	RİSK ÖNCELİK SAYISI			GERÇEKLEŞME TARİHİ	OLASILIK	ŞİDDET	SAPTANABİLİRLİK	

9-Elektrik çarpması tehlikesi ölümcül bir kazaya sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına karşın, kırıcı-delici nitelikli el aletleri yağmur altında veya nemli ortamda bırakılmamasıyla, cihaz kuru ve temiz tutulmasıyla, topraklı prizler kullanılmasıyla, seyyar panolarda 30ma'lık kaçak akım rölesi bulunmasıyla, elektrik bağlantı elemanları korunmasıyla, kabloda koruyucu olmasıyla. Enerji kablosuna ikinci yalıtım koruması yapılmasıyla, fiş prize takılı iken ayar ve bakım yapılmamasıyla, çalışma esnasında şebeke ve uzatma kablosu her zaman cihazın arka tarafında bırakılmasıyla, çalışmaya başlamadan önce çalışma alanında üzeri kaplanmış olan elektrik hatları kontrol edilmesiyle, kırık fiş ve prizler kullanılmamasıyla önlemler alınması gerekir. Ancak bunlardan herhangi hepsinin ve herhangi birisinin olması ile uygun iş ayakkabısı ve baret kullanılmasıyla ölümcül kazanın çıkabilmesinin 5 olan olasılık katsayısının 1'e düşmesine dolayısıyla RÖS değerinin 21 olarak hesaplanmasını sağladığından bu önlemler ile % 80 başarı sağlanmaktadır.

10- Çalışmaya uygun kkd kullanılmaması tehlikesi yaralanma veya ölüme sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 112 olarak hesaplanmasına karşın, çalışanların yaptıkları işe uygun iş ayakkabısı giymeleri sağlanmasıyla. Ayrıca çalışma alanında baret, iş gözlüğü, eldiven, reflektörlü yelek kullanmaları sağlanmasıyla ölümcül olabilecek kaza olasılığı 4'den 1 düştüğünden RÖS değeri 28 olarak hesaplanmasını sağlayacağından önlem % 75 oranında başarı sağladığı görülmüştür.

11-Tesiste yangın söndürücü cihaz bulunmaması tehlikesi yangına müdahale edememe kaynaklı yaralanma veya ölüm olayına sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına karşın, çalışma alanı içerisinde el aletlerinin ve diğer ekipmanların taşındığı araçta seyyar yangın söndürme cihazı bulundurulmasıyla. Yangın söndürme cihazının her zaman kullanıma hazır olması sağlanmalı, çalışanlara yangın eğitimi verilmeli ve tatbikat yapılmasıyla ölümcül kazanın çıkabilmesinin 7 olan olasılık katsayısı 1'e düştüğünden RÖS değeri 15 olarak hesaplanmasını meydana getirdiği ve yangın çıkması halinde anında müdahale ile % 85 dolayında başarı sağladığı görülmüştür.

12- İş makinelerinde yangın tüpü bulunmaması tehlikesi yangına müdahale edememe kaynaklı yaralanma veya ölüm olayına sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 84 olarak hesaplanmasına karşın, iş makinelerinde operatörün kolayca ulaşabileceği yerde yangın tüpü bulunmasıyla ölümcül yangının çıkabilmesinin olasılığı 3'den 1 düştüğü, RÖS değeri 28 olarak hesaplanmasıyla % 67'lik başarı sağladığı görülmüştür.

13- Tesis sahasında kamyonla çalışma tehlikesi yaralanma veya ölümlü kazaya sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak kazı işleri sırasında ekskavatör ile birlikte çalışan kamyon trafikten tecrit edilmeli, şoföre yapılan iş ve uyulması gerekli kurallar ile ilgili bilgi verilmeli, şoförün araçtan inmesi engellenmesiyle kazanın olma olasılığı 5'den 1'e düştüğü, RÖS değeri 21 olarak hesaplanmasıyla kamyon çalışmasından kaynaklı kazaların % 80 önüne geçildiği görülmüştür.

14- Tesisteki iş makinelerinin operatör belgesi olmayan personelin makineyi kullanması tehlikesi makinelerin devrilmesine sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 112

olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak iş makinelerini kullanan personelin operatörlük belgesi olmalı, operatörlük belgesi olmayan personelin makineleri kullanması engellenmesiyle kazanın olma olasılığı 4'den 1'e düştüğü, RÖS değeri 28 olarak hesaplandığından makinelerin devrilmesi kaynaklı kazalarda % 75 başarı sağladığı görülmüştür.

15- Tesiste ilkyardım personelinin bulunmaması tehlikesi ciddi sonuçlara zaman, ve müdahale açısından gecikmelerden kaynaklı sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına karşın, çalışanlar arasında her 10 kişiden 1 kişi belirlenerek ilkyardım eğitimi ve ilkyardımcı sertifikası alması sağlandığı dolayısıyla olasılık oranında % 80'lik azalma aynı oranda başarı sağlandığı görülmektedir.

16- Tesiste istiflenen demirlerin kayması tehlikesi yaralanmalara sebep olabileceğinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına rağmen, kullanılacak demirler belirlenen alanlarda istiflenmesiyle, uygun istif yüksekliği aşılmamasıyla, istiflerin önüne takozlar yerleştirilmesiyle yaralanmaya sebebiyet verebilecek kazaların olasılığı 7'den 1 düştüğü kazanın meydana gelmesinde % 86 kat önlem alınmasını sağladığı görülmektedir.

17- Tesiste zehirli böcek ve sürüngenler tehlikesi yaralanma ve zehirlenmeye sebep olabileceğinin RÖS değeri 84 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak çalışma alanı her gün kontrol edilmeli, böcek, sürüngen vb. canlıların olup olmadığı tespit edilmesiyle, böcek sokması gibi durumlarda personel acilen en yakın sağlık kuruluşuna ulaştırılmasıyla zehirlenmelerin önüne geçilmesi olasılığı 2/3 oranında azaldığı dolayısıyla bu önlem % 67 başarı sağladığı görülmektedir.

18- Tesise üçüncü şahısların sahaya izinsiz girişi tehlikesi iş kazası, yaralanma, ölüm olayına sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak çalışmalar sırasında çalışma alanı tespit edilmeli, alanın etrafı emniyet şeridi, duba, desinatör vb. araçlarla çevrilmeli, çalışma alanına yabancı araç ve şahısların girmesine engel olunmalı, gerekli uyarı levhaları yerleştirilmesiyle ölümcül olabilecek kazalardaki olasılık oranı 5'den 1 düştüğünden % 80 dolayında başarılı bir önlem sağladığı görülmüştür.

19- Tesiste ortamda kablo vb. malzemelerin bulunması tehlikesi elektrik çarpması, yaralanma, ölümlere sebebiyet verebilmesinin RÖS değeri 84 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak kazı işlerinin yapılacağı noktalarda elektrik kabloları, su boruları vb. ekipmanlar varsa önceden belirlenerek çalışma ortamından uzaklaştırılmasıyla, kazı işlerinden önce varsa ortamdaki elektrik, su vb. hatların kaynağının kapatılması için ilgili kurum ve kuruluşlara müracaat edilerek gerekli izinler alınmasıyla ölümcül sonuçlara varabilecek kazaların olasılığı 3'den 1 düştüğünden önlem alınması % 86 oranında başarı sağladığı görülmüştür.

20- İş makinelerinde gürültüye maruz kalma tehlikesi meslek hastalığına sebebiyet vereceğinden RÖS değeri 105 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak iş makinesi üzerine makine çalışması sırasında oluşan gürültü düzeyi yazılmalı, operatör iş makinesi kullanımı sırasında kulaklık kullanılmasıyla illerde ciddi sağlık sorunlarına verebilecek meslek hastalığına yakalanma olasılığı 5'den 1 düştüğünden önlem alınması % 80 başarı sağladığı görülmüştür.

21- Tesiste haberleşme eksikliği tehlikesi acil durumlarda müdahale edememe sorununa sebebiyet vereceğinden RÖS değeri 112 olarak hesaplanmasına sebep olmuştur. Ancak çalışanlar arasında telsiz, telefon vb. haberleşme araçları kullanılarak acil durumlarda toplanmanın, müdahale etmenin, ilgili kurum ve kuruluşlara haber vermenin kolaylaştırılması sağlanmasıyla olasılık oranında 4'den 1'e düşüş sonucu önlem alınması acil durumlarda sağlık sorunlarının önüne geçmek adına % 75 başarı sağlayacaktır.

Ülkemizin sosyal ekonomik ve kültürel yönleriyle toplumun refah seviyesini önemli ölçüde etkileyeceği belirgindir. Çevre ve sağlık konularında ekolojik dengeye duyarlı yaklaşımlar esas olmaktadır. Ekolojin dengesinin korunmasında katı atıkların çevreye zarar vermesinin önlenmesi ve bu bilincin oluşması gelecek nesillerin sağlıklı bir doğada yetişmesini de önemli kılmaktadır.

Risk değerlendirmesiyle sunulan risklerin, iş hayatındaki İş Sağlığı ve Güvenliği algısına göre orijinlerinde bertaraf edilmelidir ya da etkileri indirgenmelidir. Bu çalışmayla katı halindeki atık depolama işletmelerinde çalışanları kapsayan oldukça fazla risk ve tehlike varlığı görülmektedir. Maalesef ki bu konuyla ilgili önemli çalışmalar sunulsa da yetersizlik hala mevcuttur.

Bu çalışmada elde edilen risk değerlendirme sonuçlarına göre, atık riskleri yüksek olan katı atık depolama tesislerinin kapasitelerini göz önünde bulundurarak atık yönetim şekillerini tekrar düzenlemesi gerektiğini göstermektedir. Atıkların geçici olarak depolandığı alanlarda gerekli şartları sağlayarak, çevreye etkisi en aza indirilmelidir. Bu çalışma tesis yöneticilerine atık risklerinin azaltılması konusunda yol gösterici olacaktır. Genel tesis bazında yapılan değerlendirmelerin yanı sıra, atık yönetiminde başarısızlığa neden olan faktörleri belirlemeli ve atık yönetimindeki etkinliklerini arttırmalıdır. Başarılı olan katı atık depolama tesisleri ise bu durumlarını devam ettirebilmek için eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarına aksatmadan devam etmeleri sağlanmalıdır.

Bu araştırmadan çıkan bulgular tekrarlanan geçmişteki veriler irdelenerek hem muhtemel olabilecek kazalar ile alakalı risk durumları için çözüm üretmek ve beklenmeyen kazaların veya riskler belirlenmiş ve engellenmiştir. Risk değerlendirmesi sonucunda bazı faaliyetlerle ilgili daha önceden gerekli önlemler alındığı tespit edilmiş, bazılarında ise risk değerlendirmesi sonrasında gerekli düzenleyici önleyici faaliyetler yapılmıştır. Risk değerlendirme sonucu derlenecek olursa; tesiste çalışanlara depolama sırasında yapılan faaliyetlerle ilgili karşılaşılabilecek tüm tehlike ve risklere karşı mutlaka eğitim verilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Hayati önemdeki acil ve dikkat gerektiren basit eğitimlerin sürekli olarak her gün işe başlamadan önce, farkındalık ve güvenlik kültürünün oluşturulması noktasında çalışanlara büyük katkı sağlayacaktır.

Yapılan bu çalışmada risk değerlendirmesi sonucu olarak, atık depolama yönetiminde başarıya ulaşılması için öncelikle konunun önemini farkına varılması gereklidir. Atıkların gözden çıkarılan maddeler olarak görülmemesi, yeniden kullanılabilir kaynaklar olarak görülmesi bunun ilk adımıdır. Atıkların kaynağında ayrı olarak toplanmasında başarıya ulaşmak için atık üreticilerinin

uygulamayı benimsemeleri ve konuya zaman ayırmaları gerekmektedir. Atıkların ayrı olarak toplanması, bir angarya değil, bir görev olarak görülmelidir. Bireysel olarak uygulamanın kendilerine bir yarar sağlamayacağı, ulusal anlamda büyük bir kaynak tasarrufu sağlanacağı görüşü benimsenmelidir.

Yapılan bu çalışmada çevresel etkileri üzerine de önemli sonuçlar doğurmuştur. Katı atık düzenli depolama alanlarında sistematik, düzenli ve güvenli çalışmaları işlerin aksamasının önüne geçildiği, araç ekipman konusunda aksama göstermediğinden çevresel oluşabilecek sorunların ortadan kaldırılmasına sebep olacağı düşünülmektedir. Ayrıca sistemin bir devamı olan şehirlerden çöp toplanması da birebir bağlantılı bir süreç olduğundan çöp toplanmasına düzenli depolama tesisinde oluşabilecek bir neden olabilecek bir sorunun önüne geçileceği düşünülmektedir.

Son olarak daha önceki araştırma sonuçlarına paralel olan bu sonuçlar, atık yönetiminin disiplinler arası bir çalışma ve uygulamaya yönelik olduğunu ve tüm birimlerin koordineli çalışmaları ve işbirliği içinde olması gerektiğini göstermektedir. Çevre bilincinin oluşması, atık yönetiminin temel ilkesi olan geri dönüşümün yaygınlaşması için gerekli olan ilk şarttır. Belediyelerin de bu farkındalığı yaratmak için önemli görevleri var. Sivil toplum kuruluşlarının yardımıyla yapılacak çalışmalar yönetime katılımı artırarak atıkların toplanması ve ayrılması gibi konularda farkındalık seviyesini arttıracaktır. Ayrıca kaynakların etkin kullanımı ve sürdürülebilir çevre anlayışı geliştirilecektir.

Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar .

- [1] Tekinşen, O.C., 1989. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Paneli Açılış Konuşması, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İşçi Sağlığı Daire Başkanlığı, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Ankara 1989. 11-13s.
- [2] Yılmaz, B.S., 2000. Hata Türü ve Etki Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi SBE Dergisi, 2(4): 137.
- [3] Bayraktar O.M., 2009. Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Taguchi Metodu'nun Bonfiglioli A.Ş.'de Ortak Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [4] Tanık, M., 2019. Hata Modu ve Etkileri Analizi. kisi.deu.edu.tr/murat.tanik/fmea.pdf, 13 Haziran 2019.
- [5] Baki, M. S., 2020. Katı Atık Düzenli Depolama Tesislerinde Hata Türü Etkileri Analizi Yöntemiyle İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Analizi-Bingöl Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Munzur Üniversitesi, Tunceli.



Population development of Twig Borer Moth, *Kermania pistaciella* Amsel, 1964 (Lepidoptera: Oinophilidae) and its Pupae Parasitoid *Microchelonus fissilis* Tobias, 1964 (Hymenoptera: Braconidae) on Pistachio in Turkey

Halil BOLU*¹

¹Dicle University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, 21280 Sur/ Diyarbakir-Turkey.

Abstract

Original scientific paper

Twig borer moth, *Kermania pistaciella* Amsel, 1964 is an important of pistachio pest in Turkey. This study was conducted done in four pistachio orchards from 1992-1993 in the Şanlıurfa province of Turkey. The objective was to quantify damage caused by *K. pistaciella* in pistachio and measure and population development of *K. pistaciella* and its specific pupae parasitoid *Microchelonus fissilis* Tobias, 1964.

K. pistaciella overwinter as mature larvae in galleries in 1-2 yr old shoots; beginning in March, larvae leave galleries and pupae on the shoots in which they overwintered. Adult flight occurred in April and May. First flight of *M. fissilis* occurred 1-2 wks after first flight of *K. pistaciella*. One hundred shoots were inspected in each experiment orchard and maximums of 35 pupae were observed in 1992 in Tülmen village, and 40 pupae 1993 in Altınova village. The maximum rate of parasitism was 45% in 1992 in Ayran village and 57% in 1993 in Altınova village. The maximum damage caused by each generation of *K. pistaciella* larvae was determined as 45% in 1992 in Altınova village and 38% in 1993 at the same village.

Keywords: *Kermania pistaciella*, *Microchelonus fissilis*, Pistachio, Şanlıurfa, Turkey.

1 Introduction

Pistachio can grow in stony soils with high lime content under arid conditions that other crops cannot withstand grow up difficulties. *Pistacia terebinthus* L. and *P. khinjuk* Stocks is native trees in Southeastern Anatolia in Turkey that support commercial pistachio production. Approximately 90% of total pistachio production of Turkey is obtained from this region (Anonymous, 2019), but productivity is lower than the world average due to harmful insects.

Davatchi (1958) reported that pests caused 50% crop loss in pistachio in Iran, which suggests the importance of insect damage for pistachio production. In Turkey, plant protection activities have been continued since 1950s in pistachio growing areas.

In the middle of 1980s the pest composition was changed because of disturbed natural balance. At the beginning of 1980s, Pistachio leafhopper, *Idiocerinus stali* was the main pest of pistachio orchards but the situation has changed into the advantage of Pistachio psyllid, *Agonoscena pistaciae*. In recent years, besides *A. pistaciae*, *Pistaciae* twig borer, *Kermania pistaciella* is also become to the main pest status. In Turkey, *K. pistaciella* is an exceptionally important pest for pistachio among other pests (Günaydın, 1978; Bolu, 2002, Özgen et al., 2012; Yanık and Yıldırım, 2016; Şimşek and Bolu, 2016).

In this study, we aimed to determine population development and rate of damage of *K. pistaciella* and population development of its natural enemy *M. fissilis*.

2 Material and Method

This study was carried out in İlhan and Tülmen of center, and Altınova and Ayran villages of Birecik district of Şanlıurfa province.

To eliminate edge effects, the first four rows were not sampled the fifth tree was selected for sampling. Totally 25 trees were selected as sampling from each orchard.

Trees selected for sampling were inspected once week between March and September. Cocoons were sought on four one- or two-years-old four shoots of each tree for a total of 100 shoots on 25 trees. Adult emergence was determined by presence of the pupae skin at the tip of the cocoon, and parasitoid emergence was determined by an emergence opening that was circular and pupae skin that was absent at the tip of the cocoon (Küçükarslan, 1966). In addition, 100 one-year-old shoots were collected, brought to the laboratory, and inspected by cutting to find generation larvae. Thus, cocoon, adult-emerged cocoon, parasitoid-emerged cocoon and damage by new generation larvae were determined.

Statistical Analysis. Population development of *Kermania pistaciella* and its pupae parasitoid *Microchelonus fissilis* was determined by analysis of variance (ANOVA) to identify significant differences within each variety.

3 Results and Discussion

Population Development of *Kermania pistaciella* Amsel. In 1992 the overwintering larvae of *K. pistaciella* exited from galleries during the first week of March and

* Corresponding author.

E-mail address: besni@dicle.edu.tr (H. Bolu) | ORCID Number : [0000-0001-5488-0056](https://orcid.org/0000-0001-5488-0056)

Received 19 October 2020; Received in revised form 11 December 2020; Accepted 14 December 2020

pupated. Exiting from the shoots continued until the second or third week of May. Küçükarslan (1966) reported that mature larvae started to emerge from shoots during the last week of the February. Population development of *K. pistaciella* and *M. fissilis* are given in Figure 1.

One hundred shoots were inspected in each experiment orchard in 1992 and a maximum of 23 pupae were observed on 26 March at Altınova, 15 pupae on 15 April at Ayran, 22 pupae on 16 April at İlhan and 35 pupae on 26 March at Tülmen.

In 1992 fewer pupae of *K. pistaciella* at were found the orchard in Ayran than in other orchards. However, in this orchard more damaged shoots were found than in other orchards. These results are connected higher damages of *K. pistaciella* in the previous years.

One species of parasitoid was obtained from cultured pupae of *K. pistaciella*, and it was identified as *Microchelonus fissilis* TOB. (Hymenoptera: Braconidae) by Prof. Dr. Ahmet Beyarslan University of Trakya,

Biology Department. Küçükarslan (1966) reported *Mirax* sp. and *Microchelonus* sp. (Hymenoptera: Braconidae) as parasitoids of *K. pistaciella* in pistachio orchards. *K. pistaciella* is a new host record for *Microchelonus fissilis*.

In 1992 adult emergence of *K. pistaciella* occurred during the last week of March in Ayran, during the first week of April in Altınova, during the second week of April in Ayran, and during the third week of April in Tülmen. One to two weeks after first flight of *K. pistaciella*, its parasitoid *M. fissilis* emerged. In 1992 parasitism rate were 31% at Altınova, 45% at Ayran, 30% at İlhan and 29% at Tülmen. Küçükarslan (1966) has reported similar parasitism rate of 21% -59%.

K. pistaciella and *M. fissilis* were looking of population development analysis results in 1992-year Table 1. Pupae and adult emerged pupae were an important finding between differences. Although parasitized pupae was difference finding İlhan other orchard.)

Table 1. Population Development of *K. pistaciella* and *M. fissilis* at 1992 in Şanlıurfa

Orchard	Stage (Mean ± SE)		
	Pupae	Adult Emerged Pupae	Parasitized Pupae
Atınova	11.13 ± 2.95a	8.33 ± 2.56a	4.22 ± 1.21a
Ayran	7.88 ± 2.25a	5.78 ± 2.20a	4.11 ± 1.47a
İlhan	7.75 ± 3.00a	4.44 ± 1.83a	1.78 ± 0.80b
Tülmen	13.75 ± 4.49a	8.56 ± 3.38a	2.89 ± 1.37a

Means within column followed by the same letter are not significantly different (Duncan test at 5% level)

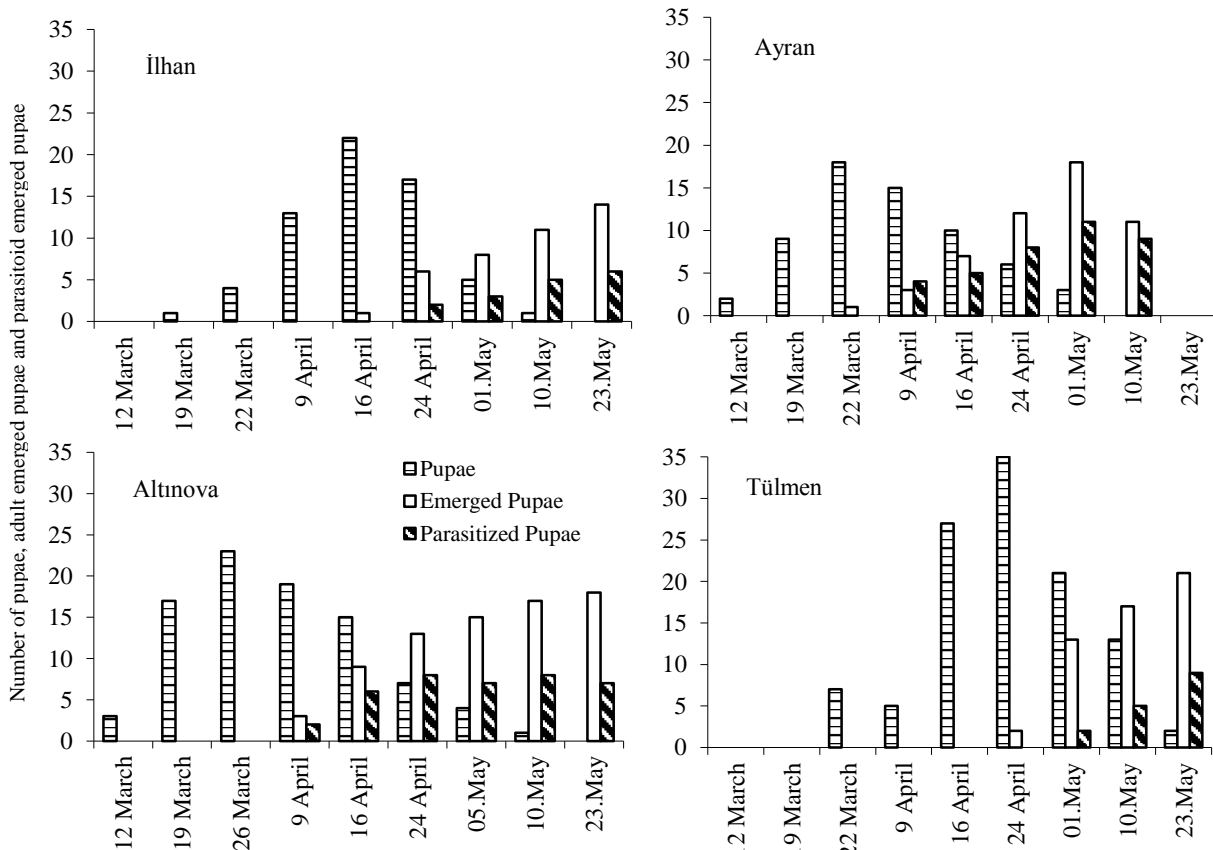


Figure 1. Population development of *K. pistaciella* and *M. fissilis* during 1992 in Şanlıurfa

Population development of *K. pistaciella* and its parasitoid were observed in 1993 at the same orchards (Figure 2). One hundred shoots were inspected in each orchard in 1993 and a maximum 40 of pupae were observed on 1 April at Altınova, 19 pupae on 8 April in Ayran, 12 pupae on 8 April at İlhan and 32 pupae on 22 April at Tülmen.

In this year more pupae of *K. pistaciella* were observed than in 1992 at Altınova, and at İlhan fewer pupae were detected. However at Ayran and Tülmen the number of pupal of *K. pistaciella* did not change. The change in number of pupae in Altınova and İlhan was related to with parasitization rate. *K. pistaciella* and *M. fissilis* were looking of population development analysis results in 1993 year Table 2.

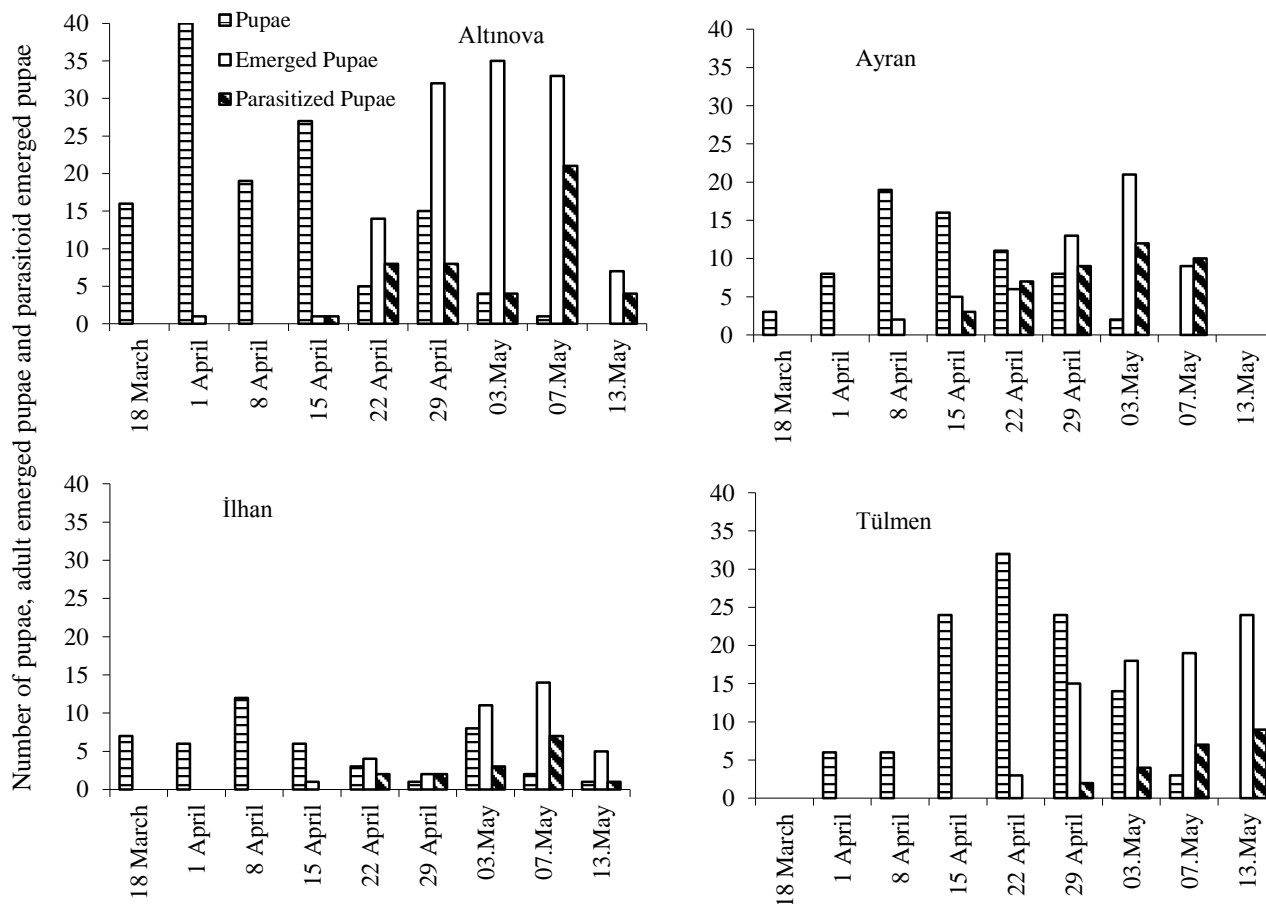


Figure 2. Population development of *K. pistaciella* and *M. fissilis* at 1993 in Şanlıurfa

Table 2. Population Development of *K. pistaciella* and *M. fissilis* at 1993 in Şanlıurfa

Orchard	Stage (Mean ± SE)		
	Pupae	Adult Emerged Pupae	Parasitized Pupae
Altınova	15.88 ± 4.62a	15.25 ± 5.55a	5.75 ± 2.45a
Ayran	8.38 ± 2.38ab	7.00 ± 2.55ab	5.13 ± 1.76a
İlhan	5.63 ± 1.27b	4.63 ± 1.85b	1.88 ± 0.83b
Tülmen	13.63 ± 4.16a	9.88 ± 3.57ab	2.75 ± 1.26ab

Means within column followed by the same letter are not significantly different (Duncan test at 5% level)

İlhan was different finding pupae Altınova and Ayran, It was different finding with Tülmen. Ayran, İlhan and Tülmen were emerged pupae different finding in Altınova. İlhan and Tülmen were parasitized pupae different Altınova and Ayran.

In 1992, 43% of pistachio shoots at Altınova were damaged by *K. pistaciella* 45% at Ayran, 29% at İlhan and 35% at Tülmen. In 1993, 38% of shoots were damaged by *K. pistaciella* at Altınova, 25% at Ayran, 15% at İlhan and 32% at Tülmen (Figure 3)

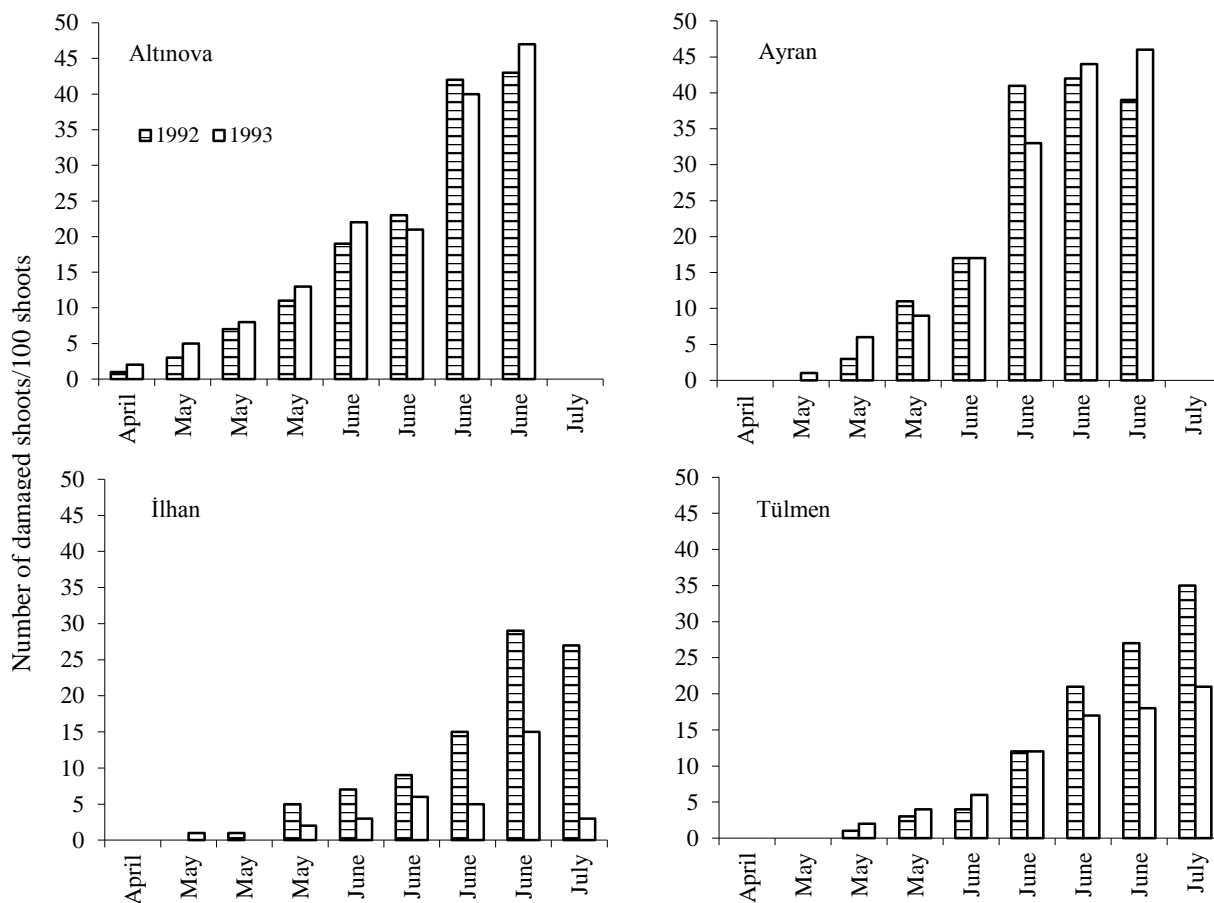


Figure 3. Damage rate of *Kermania pistaciella* at the orchards at 1992-1993 in Şanlıurfa

Table 3. Damage rate of *Kermania pistaciella* at the orchards at 1992-1993 in Şanlıurfa

Orchard	Damaged% (Mean ± SE)	
	1992	1993
Atınova	18.63 ± 5.84a	19.75 ± 5.79a
Ayran	19.13 ± 6.63a	19.50 ± 6.69a
İlhan	11.63 ± 3.94a	4.38 ± 1.67b
Tülmen	12.88 ± 4.70a	10.00 ± 2.85ab

Means within column followed by the same letter are not significantly different (Duncan test at 5% level)

Küçükarslan (1966) reported that *K. pistaciella* damaged 35% of stems in Birecik pistachio orchards. Günaydın (1978) reported that it damaged 5.5% of stems in Adıyaman (Center and Besni districts), 2.6% in Diyarbakır (Lice district), 20.7% in Mardin, 21.5% in Siirt (Center and Şirvan districts), 19.8% in Şanlıurfa and 35-37% in Birecik. These results are consistent with our findings.

In southeastern Anatolian pistachio orchards, *K. pistaciella* was considering an important pest (Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep, Siirt and Şanlıurfa provinces) by Küçükarslan (1966), Günaydın (1978), Bolu (2002), Özgen et al., (2012) and Yanık and Yıldırım (2016), Şimşek and Bolu (2016) and Beyarslan and Şahan (2019).

According to our research, the damage of *K. pistaciella* consistent natural enemies does not appear to control this pest adequately. Chemical control of this pest is likely.

K. pistaciella was showing of damage rate in 1992-93 years. The orchards between were passing difference. Only it was difference finding Altınova and Ayran in 1993 year.

Acknowledgements

I thank Prof. Dr. Ahmet Beyarslan for identification of *Microchelonus fissilis* TOB..

References

- Anonymous. 2019. Agricultural Structure and Production. Turkey Minister Statistics Institute, Ankara.
- Beyarslan, A. and Y. B. Şahan, 2019. A new species of Chelonini (Hymenoptera: Braconidae) from pistachio twig borer moth (*Kermania pistaciella* Amsel (Lep.: Tineidae)) in Gaziantep. Turkish Journal of Zoology. 43 (4): 388-392.
- Bolu, H., 2002. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Antepfıstığı Alanlarındaki Böcek ve Akar Faunası Üzerinde Araştırmalar. Türk. entomol. derg., 26 (3): 197-208.
- Davatchi, G.A. 1958. Sur Quelques Insectes Nuisibles Au Pistachier En Iran. Revue de Pathologie Vegatale et Entomologie Agricole de France. Tome XXXVII. No: 1 Paris; 166 s.
- Günaydın, T. 1978. Investigations on Insect Species, Biology, Descriptions, Spread and Economical Importation pistachio areas in Southeastern Anatolia Region Turkey (E. Ü. Agricultural Faculty Plant Production).
- Küçükarslan, N. 1966. Pistachio of Harmful branch Moth (*Kermania pistaciella* Amsel) (Lepidoptera: Oinophilidae) of Biology and Chemical Control. Sabri A. Ş. Basımevi. İstanbul, 64 s.
- Şimşek, A. and H. Bolu, 2016. Diyarbakır ili Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) alanlarındaki yararlı böcek faunasının belirlenmesi. Bitki Koruma Bülteni. 56 (3): 267-281.
- Özgen, İ., Bolu, H. and A. Beyarslan 2012. *Chelonus flavipalpis* Szepligeti, 1896 and *Mirax rufilabris* Haliday, 1833 (Hymenoptera: Braconidae): Two New Larva-Pupa Parasitoids of pistachio twig borer *Kermania pistaciella* Amsel, 1964 (Lepidoptera: Oinophilidae) with the parasitization ratios from Turkey. Mun. Ent. Zool. 7 (1): 238-242.
- Yanık, E. and Y. Yıldırım, 2016. Effectiveness of mass trapping for control of the pistachio twig borer, *Kermania pistaciella*. Bulletin of Insectology 69 (1): 35-40.