

Modern Elektrik Teknolojileri: Tasarım, Optimizasyon ve Güvenlik II

Editör
İSHAK PARLAR

BİDGE Yayınları

Modern Elektrik Teknolojileri: Tasarım, Optimizasyon ve
Güvenlik II

Editör: Dr. Öğr. Üyesi İshak PARLAR

ISBN: 978-625-6488-10-6

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2023

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Sevgili Okuyucular,

Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, günümüzün hızla değişen teknolojik peyzajında öncü bir role sahiptir. Bu dinamik alandaki gelişmeler, sadece mühendislik dünyasını değil, aynı zamanda küresel toplumları da etkilemektedir. Bu kitap, Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği disiplininde kayda değer çalışmaları ve bunları günlük yaşantımıza entegre etmek isteyen herkese rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Umuyoruz ki bu kitap, Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği alanındaki merakınızı heyecan verici yolculukta bir adım ileriye taşır.

Editor

Dr. Öğr. Üyesi İshak PARLAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
Yer Etkili Hava Araçlarının İncelenmesi.....	5
Tabarak Ahmed Taher AL MAATOQ.....	5
Kamil ORMAN	5
Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı Mikro Generatör Tasarımı Ve Manyetik Analizi.....	20
Engin HÜNER.....	20
Elektronik Sistemlerde Elektrostatik Elektrikten Korunma Yöntemleri	31
Musa Faruk ÇAKIR	31
Enerji Bitkileri.....	51
Ayben POLAT BULUT	51

BÖLÜM I

Yer Etkili Hava Araçlarının İncelenmesi

Tabarak Ahmed Taher AL MAATOQ¹
Kamil ORMAN²

Giriş

Yer etkili hava araçları (Ground Effect Vehicle - GEV), aracın kanatları ile yüzey arasında oluşan aerodinamik etkileşim nedeniyle su yüzeyi üzerinde uçabilme yeteneğine sahiptir. Bu araçların ayırt edici özelliği, sıradan uçaklara kıyasla daha yüksek verim ve deniz araçlarına kıyasla ise daha yüksek hıza sahip olması ve ayrıca suya veya karaya iniş-kalkış yapabilmesidir. Diğer yandan askeri alanlarda da kullanılabilmesi gibi birçok avantajı vardır. Özellikle kıyı kentleri arasındaki kısa mesafeler arasında sivil ulaşım için büyük önem arz edebilmektedir. 1960'larda tasarlanan Rus Ekranoplan (Wikipedia, 2020) gibi yer etkili bir hava aracı üretilerek yenilikçi bir ulaşım sistemi bulmanın yolları araştırılmıştır.

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, tabarekalmaatoq@gmail.com

² Doç. Dr., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-7236-9988

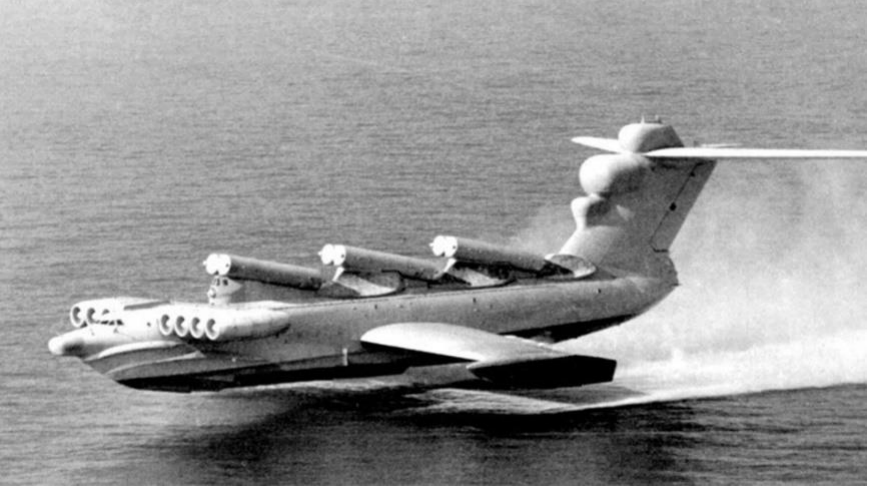
Günümüzde yer etkili hava araçları yakın gelecek için dikkate alınması gereken ve umut verici ulaşım araçları olarak değerlendirilmektedir. Deniz ulaşımı ve taşımacılığında kullanılan gemi vb. geleneksel araçların, kabul edilebilir bir yakıt verimliliği ile 100 km/saatten daha yüksek hızlara ulaşabilen yer etkili hava araçlarının hızlarına ulaşabilmesi pek olası değildir. Hidrofoil tekneler ya da sürat tekneleri gibi araçlar ancak bu hızlara ulaşabilir fakat bu araçlar taşımacılık alanında kullanılmazlar. Hava ulaşımı ve taşımacılığında ise iniş-kalkış pistleri, hava alanı ve yakıt verimliliği gibi yüksek işletme maliyetleri oluşmaktadır. Ayrıca yer etkisi nedeniyle taşınabilecek faydalı yük miktarının artacağı da göz önünde bulundurulması gereken bir etkidir.

Yer Etkili Hava Aracı

Yer etkisi (Ground Effect) , yüzeye yakın mesafeden uçan araçlarda kaldırma/sürüklenme oranının arttıran ilave bir kaldırma sistemidir (Rozhdestvensky,1997, Rozhdestvensky, 2006, Abramowski, 2007). Diğer taraftan Reeve, altındaki yüzeye yakın mesafeden uçan araçların gövdelerinde oluşan aerodinamik, aeroelastik ve aeroakustik etkiler olarak tanımlamıştır (Reeves, 1993).

Yer etkili araçların gelişimi, 1920'lerde Alman fizikçi Carl Wieslsberger'in hava araçlarının uçuş dinamiklerine büyük etki oluşturan yer etkilerinin nasıl çalıştığını tanımlaması, yer etkileri hakkında bazı fikirler önermesi ve geliştirmesi ile başlamıştır. Yer etkili hava aracı ise Yer Etkisinin verimli kullanımı için altındaki yüzeye yakın uçabilecek şekilde tasarlanmış, motorlu ve mevcut uçaklardan daha ağır bir araç olarak tanımlanabilir.

Günümüzde böyle bir hava aracını tanımlamak için birçok terim mevcuttur. Rus R. Alekseev tarafından Şekil-1 de gösterilen Ekranoplan (Fransızca écran=ekran kelimesi ve Rusça nizkolet=alçaktan uçan araç) ve Ekranolet (Yer etkisine girip çıkabilen araç) isimleri kullanılmıştır (Belavin, 1968).



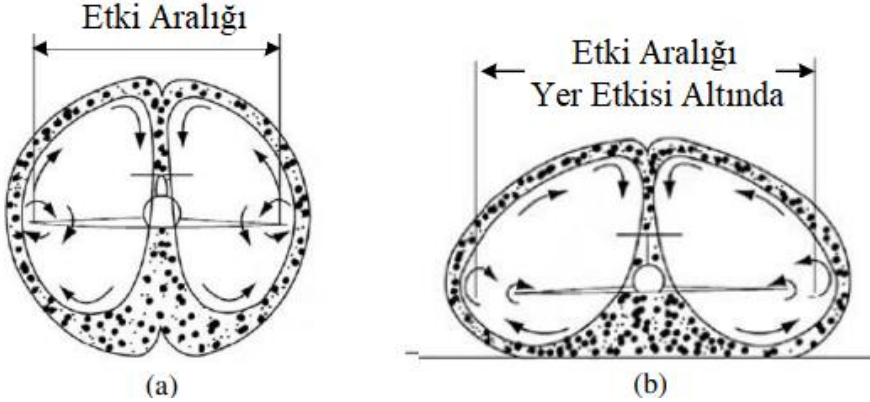
Şekil-1 Ekronoplan (Wikipedia (2020). Ekranoplan)

Şekil-2 de verilen ve popüler olarak kullanılan WIG (Wing in Ground Effect) ismi ise Yer Etkisindeki Kanat anlamındadır. Japon S. Kubo tarafından ise WISES-Yüzeyde Kanat Etkili Gemi olarak ifade edilmiştir. Amerikalı Bertelson GEM Yer Etkili makine anlamında kullanılmıştır. Flaircraft ve Tandem-Aerofoil Boat terimleri Gunther Jorg tarafından önerilmiştir. Hanno Fischer tarafından geliştirilen Lippisch uçak türevlerine Airfish adı verilmektedir. Fischer'in uyguladığı hava yastığı destekli kalkış teknolojisi ise Hoverwing terimiyle öne çıkmıştır. Techno Trans'ın ürettikleri araçları Hydrowing olarak adlandırılmıştır. S. Hooker, devasa büyüklükteki WIG araçlarını tanımlayan Wingship terimini ortaya koymuştur (Hooker, 1982).



Şekil-2 WIG Yer Etkisindeki Kanat AIRFISH 8 (FS-8. The WIG page. 2008)

Yer Etkili Hava Araçlarının yer etkisi alanında uçarken uçuş yüksekliğinin araca etki eden kuvvetler ve bu kuvvetlerin momentleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu faktörler aracın dinamik özelliklerini ve stabilitesini etkiler. Yer Etkili Hava Aracının boylamsal hareket kontrolünde, irtifa dümeni (Rudder) ile flaplar aktif olarak kullanılmaktadır. Bu durum her ne kadar kaldırma kuvvetini etkili bir şekilde arttırsa da ilave sürüklenme etkisi oluşturur. (Nebylov, & Nebylov, 2007). Şekil-3'te hava aracına uçuş esnasında etki eden Vortex akımları gösterilmektedir.



Şekil-3 Hava aracında uçuş esnasında oluşan Vortex Akımları

Yer Etkili Hava Araçlarının Kullanım Alanları

Sivil kullanım alanları: Yolcu ve yük taşıma, Sahil kentlerinde kıyı ulaşımı, Turizm amaçlı tur organizasyonları, Arama kurtarma, Kişisel eğlence ve gezi.

Askeri kullanım alanları: Sahil Güvenlik, Füze fırlatma aracı, Silah ve askeri personel taşıma, Amfibi savaş unsuru, Keşif ve devriye gibi birçok farklı alanlarda kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

Yer Etkili Hava Araçlarının Avantajları

Yer Etkili Hava Araçları enerji açısından oldukça verimlidir. Yakıt tüketimleri yük taşıma kapasitesi ve hızları söz konusu olduğunda diğer hava ve su araçlarına kıyasla daha azdır (Rozhdestvensky, 2006, Ghafoor, 2015).

1-Yer Etkili Hava Araçların Su Araçlarına Kıyasla Avantajları

Amfibi Performansı: Yer Etkili Hava Araçları amfibi operasyonlarda sahillerden (gemiler gibi) yükleme ve boşaltma yapabilir ayrıca uçaklar gibi pistlerden iniş/kalkış yapabilecek şekilde tasarlanabilir.

Görünmezlik: Yer Etkili Hava Araçları alçak irtifalarda ve yüksek hızla uçmaları nedeniyle askeri uygulamalarda gizlilik ve görünmezlik yeteneğine sahiptirler.

Hız: Diğer tüm deniz araçlarına kıyasla hız bakımından önemli bir avantaja sahiptirler.

2-Yer Etkili Hava Araçların Uçaklara Kıyasla Avantajları

Yük Taşıma Kapasitesi: Bir hava aracının verimliliği yük taşıma kapasitesi ile orantılıdır. Bu durum doğrudan aracın kaldırma/sürüklenme oranıyla ilgilidir. Yer etkili hava araçlarında kaldırma/sürüklenme oranı daha yüksektir.

Bakım/Arıza: Yer etkili hava araçları alçak irtifada ve su üzerinde uçtukları için herhangi bir motor arızasında suya doğrudan iniş yapabilir ve büyük bir kaza/arıza meydana gelme ihtimali düşüktür.

Kalkış/İniş Kapasitesi: Uçaklarda kalkış ve iniş esnasında aracın faydalı yük taşıma kapasitesi büyük bir sorun oluştururken yer etkili hava araçları bu konuda nispeten daha avantajlıdır.

Yer Etkili Hava Araçlarının Tasarım Süreçleri

Yer etkili hava araçları modellenirken, tasarım süreci genellikle aşağıdaki adımları içerir:

Gereksinimlerin Belirlenmesi: Uçak tipi ve kullanım amacına göre belirli gereksinimler tanımlanmalıdır. Bu gereksinimler, performans, menzil, taşıma kapasitesi, hız ve enerji verimliliği gibi faktörleri içermelidir.

Konsept Tasarım: Gereksinimler belirlendikten sonra, farklı konsept tasarımlar düşünülmeli ve değerlendirilmelidir. Bu aşamada, uçağın genel geometrisi, kanat yapısı, motor seçimi ve enerji kaynakları gibi ana unsurlar belirlenir.

Aerodinamik Analiz: Hava aracının aerodinamik performansını değerlendirmek için bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli mühendislik (CAE) araçları kullanılır. Bu analizler, aerodinamik direnç, kaldırma kuvveti ve manevra kabiliyeti gibi faktörleri içerir.

Malzeme Seçimi: Yer etkili hava araçlarında genellikle hafif ve dayanıklı malzemeler kullanılır. Malzeme seçimi, hem uçağın ağırlığını azaltmak hem de dayanıklılığını artırmak için önemlidir.

Enerji Kaynakları ve Tahrik Sistemi: Elektrikli uçaklar için enerji kaynakları ve tahrik sistemleri belirlenir. Bu aşamada, pil teknolojileri, hibrit sistemler veya hidrojen yakıt hücreleri gibi çeşitli seçenekler değerlendirilir.

Güç ve Enerji Yönetimi: Yer etkili hava araçlarının enerji verimliliği için güç ve enerji yönetimi sistemleri tasarlanır. Bu, enerji tüketimini optimize etmek ve uçağın performansını artırmak için önemlidir.

Test ve Prototip Üretimi: Tasarım sürecinin ardından, bir prototip üretilir ve çeşitli testlere tabi tutulur. Bu testler, aerodinamik testler, enerji verimliliği değerlendirmeleri ve uçuş testleri gibi çeşitli aşamaları içerir.

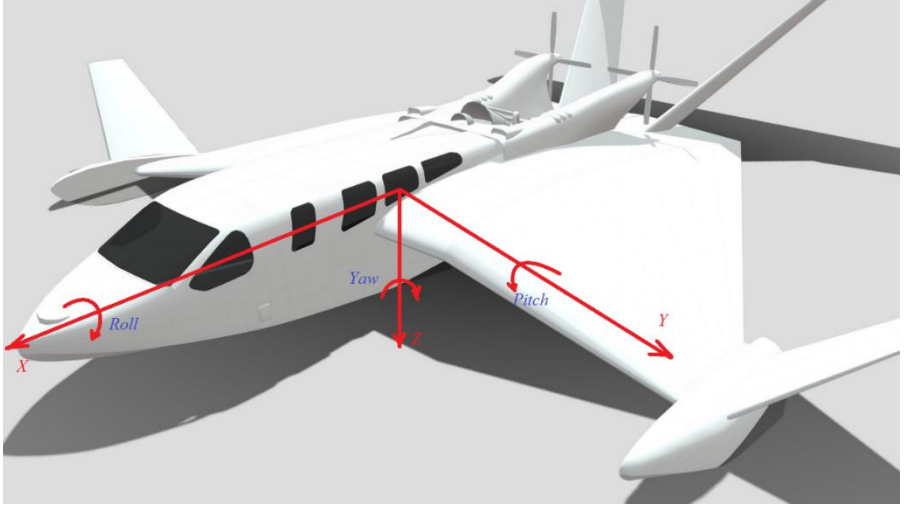
Üretim ve Optimizasyon: Prototipin başarılı olması durumunda, üretim sürecine geçilir ve hava aracı seri üretime alınır. Bu aşamada, üretim süreçleri ve malzeme kullanımı optimize edilir.

Bu adımlar genel bir tasarım sürecini temsil etmektedir ve her bir adım, hava aracının özel ihtiyaçlarına ve tasarım hedeflerine bağlı olarak değişebilir. Ayrıca, bu süreçte multidisipliner bir yaklaşım benimsenir; yani, mühendislik, aerodinamik, malzeme bilimi ve enerji sistemleri gibi farklı disiplinlerin bir araya getirilmesi gerekir.

Yer Etkili Hava aracının matematiksel modeli

Aracın matematiksel modeli oluşturulurken yer etkisi, aerodinamik etkiler, itme kuvveti, yerçekimi, atmosferik unsurlar ve kütle eylemsizlikleri dahil olmak üzere tüm kuvvetler ve momentlerin dahil edildiği 6-DOF doğrusal olmayan dinamik bir modelin geliştirilmesi amaçlanır. Aracın doğrusal olmayan hareket denklemleri Newton'un ikinci yasası ve doğrusal momentumun korunumu yasası uygulanarak geliştirilir. Aracın altı serbestlik derecesine sahip rijit bir cisim olduğu varsayılır (Şekil-3). Üç öteleme eksen (X,Y ve Z) kütle merkezinin hareketini, üç dönme eksen (Yuvarlanma- ϕ , Yalpalama- θ ve Dönme- ψ) ise aracın yönelimini tanımlar. Denklemler hava aracı ile birlikte hareket eden ve merkezi aracın kütle merkezinde olan bir sabit eksen sisteminde yazılır. Modelleme yapılırken genellikle şu kısıtlar göz önünde

bulundurulur; Aracın kütesinin sabit olduğu kabul edilir (yakıt tüketiminden dolayı kütlede değişiklik yoktur), Yani simülasyon süresince ağırlık merkezi değişmez, Dünyanın sabit olduğu varsayılmaktadır (dönme yoktur) ve Dünyanın eğriliği ihmal edilmektedir.



Şekil-4 Yer Etkili Hava Aracının eksenleri (Airfish 8)

Yer Etkili Hava Aracının gövde eksen denklemleri aşağıdaki gibidir (Ji ve ark., 2021);

- Kuvvet Denklemleri

$$\dot{u} = vr - \omega q - g \sin \theta + \frac{F_x}{m} \quad (1)$$

$$\dot{u} = ur + \omega p + g \cos \theta \sin \phi + \frac{F_y}{m} \quad (2)$$

$$\dot{\omega} = uq + vp + g \cos \theta \cos \phi + \frac{F_z}{m} \quad (3)$$

- Moment Denklemleri

$$\dot{p} = \left[\begin{array}{l} (I_y I_z - I_z^2 - I_{xz}^2)qr + I_z L \\ + I_{xz}(I_x + I_y + I_z)pq + I_{xz}N \end{array} \right] / I_x I_z - I_{xz}^2 \quad (4)$$

$$\dot{q} = [(I_z - I_x)pr - I_{xz}(p^2 - r^2) + M] / I_y \quad (5)$$

$$\dot{r} = \left[\begin{array}{l} (I_x^2 - I_x I_y + I_{xz}^2)pq + I_{xz}L \\ - I_{xz}(I_x - I_y + I_z)qr + I_x N \end{array} \right] / I_x I_z - I_{xz}^2 \quad (6)$$

- Kinematik Denklemleri

$$\dot{\phi} = p + (r \cos \phi + q \sin \phi) \tan \theta \quad (7)$$

$$\dot{\theta} = q \cos \phi - r \sin \phi \quad (8)$$

$$\dot{\psi} = (r \cos \phi + q \sin \phi) / \cos \theta \quad (9)$$

- Yörünge Denklemleri

$$\begin{aligned} \dot{x}_g &= u \cos \theta \cos \psi + (\sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi) \\ &+ \omega (\cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi) \end{aligned} \quad (10)$$

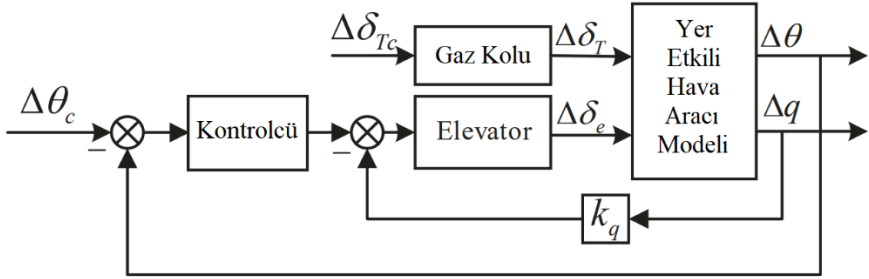
$$\begin{aligned} \dot{y}_g &= u \cos \theta \sin \psi + v (\sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi) + \\ &\omega (\cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi) \end{aligned} \quad (11)$$

$$-\dot{h}_g = -u \sin \theta + u \sin \phi \cos \theta + \omega \cos \phi \cos \theta \quad (12)$$

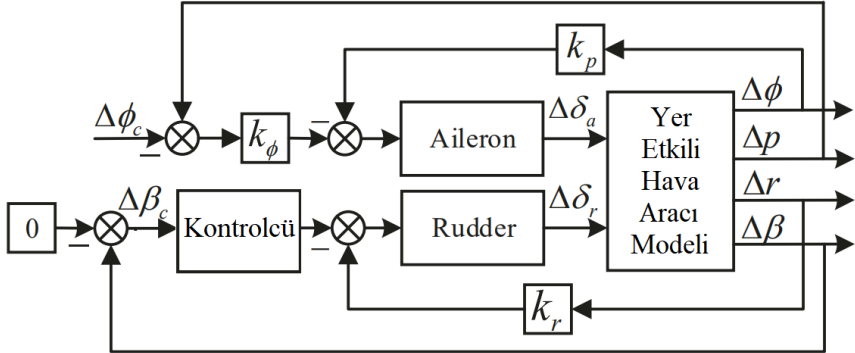
Yer Etkili Hava Aracının Kontrolü

Yer Etkili Hava Aracını kontrol edebilmek için aerodinamik etkileri içeren tüm dış kuvvetler, yerçekimi kuvvetleri, itme kuvveti ve bunların momentlerinin de hesaba katılması gerektiği unutulmamalıdır (Papadopoulos ve ark. , 2022). Kontrol algoritmaları geliştirilirken yaygın yöntem olarak sistem önce doğrusallaştırılır ve elde edilen doğrusal sistem için kontrolör tasarlanır daha sonra geliştirilen kontrolcünün parametreleri ayarlanarak doğrusal olmayan sistem için kullanılır (Kornev & Matveev, 2003).

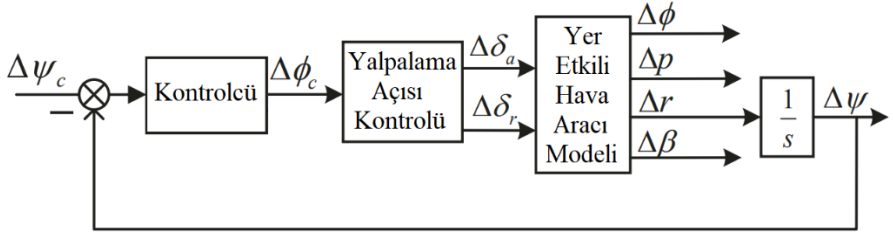
Literatürde uygulanan farklı kontrol yöntemleri bulunmaktadır. En yaygın kontrol yaklaşımı olarak PID kontrolcü ele alınmıştır (Nebylov & Nebylov, 2007, Ghafoor, 2015, Mei ve ark., 2022). Bununla birlikte maliyet fonksiyonu hesaplama yöntemi (Cost Function) (Shabani ve ark., 2020,), PI kontrol yöntemi (Ji ve ark., 2021) ve Model tabanlı tahmine dayalı kontrol yöntemi (Model-based Predictive Control-MPC) (Patria ve ark., 2021) gibi yaklaşımlar ele alınmıştır. Bu kontrol yöntemleri uygulanırken bakış açıları farklılık içerse de Yer Etkili Hava Aracının Kontrol değişkenleri 3 Euler açısı (Yunuşlama-Pitch, Yalpalama-Roll ve Dönme-Yaw) ve yükseklik kontrolü yapılarak tasarlanmaktadır. Bu kontrol işlevlerini gösteren blok diyagramlar Şekil 4-7 'de verilmiştir.



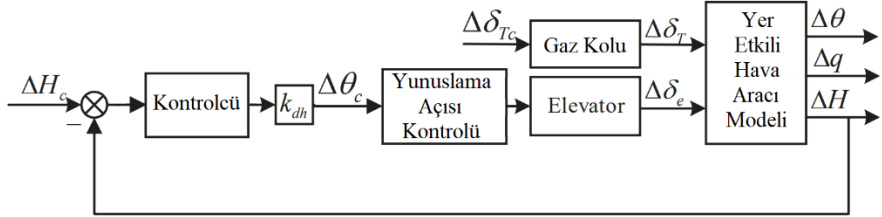
Şekil-5 Yunuşlama Açısı (Pitch) Kontrolü



Şekil-6 Yalpalama Açısı (Roll) Kontrolü



Şekil-7 Dönme Açısı (Yaw) Kontrolü



Şekil-8 Yükseklik Kontrolü

Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma, yer etkili hava araçlarının avantajları, kullanım alanları, matematiksel modellenmesi ve etkin kontrol stratejilerinin geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Sürdürülebilir havacılık teknolojilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmak amacıyla tasarlanan yer etkili hava araçlarının tasarım sürecini anlamamıza yardımcı olmayı hedeflemiştir. Kontrol stratejileri, uçağın stabilitesini ve manevra kabiliyetini optimize etmek, enerji tüketimini minimize etmek ve emisyonları azaltmak amacıyla geliştirilmektedir.

Yer etkili hava araçları, çevresel olumsuz etkileri azaltarak, enerji verimliliğini artırarak ve karbon ayak izini minimize ederek havacılık endüstrisine çevresel bir dönüşüm getirebilir. Ancak, bu teknolojilerin ticari uygulanabilirliği, mevcut altyapı ve regülasyonlarla uyumlu olup olmadığı gibi konular, gelecekteki çalışmaların odak noktaları olmalıdır. Gelecekteki çalışmalar, bu teknolojilerin gerçek dünya uygulamalarına entegrasyonunu ve endüstri standardı haline gelmesini sağlamak için bu temel bulguları daha da derinleştirebilir.

Yer Etkili Hava Araçlarının özellikle Türkiye gibi etrafı denizlerle çevrili ülkelerde ticari deniz taşımacılığı kapsamında değerlendirilebilecek yük ve yolcu taşıma alanlarında büyük avantajlar doğurabilecek bir teknoloji olduğunun yanı sıra askeri amaçlı uygulamalar için de büyük bir fayda sağlayabilecek bir teknoloji olduğu öngörülmektedir. Böyle bir teknolojinin son yıllarda türkiye’de artan bir ilgiye sahip olan mavi vatan kavramı için de büyük bir katkı sağlayacağı şüphesizdir. Hem askeri anlamda kıta sahanlığımızın korunması ve caydırıcı bir unsur olabilme özelliğinin yanı sıra üç tarafı denizlerle çevrili olan türkiye’de açısında ticari anlamda katma değer oluşturabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Türkiye’de Yer Etkili Hava Araçlarının modellenmesi ve kontrolü üzerine çok az sayıda akademik çalışma mevcuttur (Ghafoor, 2015, Shabani ve ark., 2020). Literatürde yer etkili hava araçlarının kontrolünde genellikle klasik kontrol yaklaşımları test edilmiştir. Bu bağlamda sunulan bu çalışmanın devamında yer etkili bir hava aracı prototipi için modelleme yapılması ve görüntü işleme (Akar & Orman, 2020) gibi yöntemlerle birleştirilebilen üst düzey kontrol algoritmaları (Orman ve ark., 2018, Orman, 2021, Orman, 2022, Katipoğlu ve ark. 2023) ile otonom uçuş özelliğine sahip bir hava aracı geliştirilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

Abramowski, T. (2007). Numerical investigation of airfoil in ground proximity. *Journal of theoretical and applied mechanics*, 45(2), 425-436.

Akar, F., & Aydın, Y. (2017). Comparison of Interest Point-Based Features in Object Recognition Applications. In *8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17)*, Elazığ, Türkiye 19(22), 3553-3556.

Akar, F., & Orman, K. (2020). Otonom kara araçlarındaki görüş sistemlerinin incelenmesi.

Belavin, N. I., (1968). *Letauschie Suda-ekranoplany*. Katera I Yakhty no. 15.

FS-8. The WIG page. 2008. Archived from the original on July 18, 2011. Retrieved December 30, 2011., 1611.2023 tarihinde <https://web.archive.org/web/20110718175215/http://www.se-technology.com/wig/html/main.php?open=showpic&code=&pic=360> adresinden ulaşılmıştır.

Ghafoor, A. 2015, “Wing In Ground Effect Vehicle: Modelling And Control” Master Thesis, METU, Ankara, Türkiye.

Hooker S., (1982) , *Wingships: Prospect for High-Speed Oceanic Transport*, Jane’s All the World’s Surface Skimmers, Jane’s Information Group, Coulsdon, UK.

Ji, H., Yan, J., Zhao, Y., Zhu, Y., Wang, J., & Zuo, D. (2021, October). Control system design for WIG aircraft on the wavy water surface. In *2021 International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS)* 567-571.

Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N., Dalkılıç, H. Y., & Akar, F. (2023). Application of empirical mode decomposition, particle swarm optimization, and support vector machine methods to predict stream flows. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9), 1108.

Kolewe, B., Drewelow, W., Dewitz, D., & Lampe, B. (2010). MARSPEED-Modelling and Real Time Simulating the Motion of a Wing-in-Ground-Effect Vehicle. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(20), 184-189.

Kornev, N., & Matveev, K. (2003, January). Complex numerical modeling of dynamics and crashes of wing-in-ground vehicles. In *41st Aerospace sciences meeting and exhibit* (p. 600).

Mei, Y., Su, S., Shan, X., Yu, P., & Wang, H. (2022). High Precision Height Control for Wing-in-Ground Crafts. *International Journal of Aerospace Engineering*.

Nebylov, A. & Nebylov, V., (2007). New design methods and results for automatically controlled WIG. DOI:10.13009/EUCASS2019-174

Orman, K. (2021). Design of a memristor-based chattering free sliding mode controller and speed control of the BLDC motor. *Tehnički vjesnik*, 28(3), 754-762.

Orman, K. (2022). Design of a Memristor-Based 2-DOF PI Controller and Testing of Its Temperature Profile Tracking in a Heat Flow System. *IEEE Access*, 10, 98384-98390.

Orman, K., Can, K., Basci, A., & Derdiyok, A. (2018). An Adaptive-Fuzzy Fractional-Order Sliding Mode Controller Design for an Unmanned Vehicle. *Electronics & Electrical Engineering*, 24(2).

Papadopoulos, C., Mitridis, D., & Yakinthos, K. (2022). Conceptual design of a novel unmanned ground effect vehicle (ugev) and flow control integration study. *Drones*, 6(1), 25.

Patria, D., Rossi, C., Fernandez, R. A. S., & Dominguez, S. (2021). Nonlinear control strategies for an autonomous wing-in-ground-effect vehicle. *Sensors*, 21(12), 4193.

Reeves J.M.L, (May 1993). The case for surface effect research, platform applications and development opportunities. *NATO-AGARD fluid mechanics panel (FMP) symposium in long range and long range endurance operation of aircraft*, session 1A, paper no. 4, 24-27.

Rozhdestvensky K.V, (1997). Ekranoplans—the GEMs of fast water transport, *Institute of Marine Engineering*, London, Vol.109, part 1, 47-74.

Rozhdestvensky, K. V. (2006). Wing-in-ground effect vehicles. *Progress in aerospace sciences*, 42(3), 211-283..

Shabani, R., Nalcaci, G., Leblebicioglu, M. K., & Ermis, M. (2020, July). “Cost Function Determination for a WIG in Predefined Path and Height Using Conjugate Gradient Method.” *In 2020 IEEE 6th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)* (s. 172-177). IEEE.

Wikipedia (2020). Ekranoplan. 16.11.2023 tarihinde <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ekranoplan> adresinden ulaşılmıştır.

BÖLÜM II

Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Mikro Generatör Tasarımı Ve Manyetik Analizi

Engin HÜNER¹

1. Giriş

Günümüzde kullandığımız saatlerden telefonlara kadar birçok alet ve cihaz kısa periyotlar içinde şarja ihtiyaç duymaktadır. Dolayısıyla günlük hayatımızda elektrik enerjisine olan ihtiyacımız kaçınılmazdır. Şebekeden uzak noktalarda enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisi temel kaynaklardan biridir. Bununla birlikte birçok araştırma farklı enerji kaynaklarının da elektrik enerjisine dönüştürülmesini içermektedir. Yapılan bu çalışmada da akarsular, dereler veya geçici su akışının olduğu yerlerden enerji üretimini sağlayacak eksenel akıllı sürekli mıknatıslı (EASM) mikro generatör tasarımı ve manyetik analizi sunulmuştur. Önerilen EASM mikro generatör elektronik devre tasarımında kullanılan baskılı devre kartından (PCB) sargılara sahip mikro ölçekli bir generatördür. EASM mikro generatör ile telefon, elektronik saat v.b cihazların şarj edilmesi hedeflenmiştir.

¹ Doç.Dr, Kırklareli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, engin.huner@klu.edu.tr

EASM makineler sağladıkları yüksek moment ve güç yoğunluğu nedeniyle son yıllarda önemli bir çalışma konusudur (Can & Yıldırım, 2019). EASM makineler kompakt yapısı yüksek moment karakteristiği nedeniyle özellikle elektrik araçlar için ideal bir topolojiye sahiptirler (Polat & Akıncı, 2020). Bununla birlikte EASM makineler hem motor olarak hem de generatör olarak radyal akılı makinaların kullanıldığı alanlarda kullanılabilir niteliktedir. Fakat EASM makinelerinin seri üretimini sağlayacak alt yapının yaygın olmaması üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Dolayısıyla EASM makineler günlük hayatta radyal akılı makineler kadar yaygın kullanılmamaktadır. Bununla birlikte EASM makinelerde en büyük dezavantaj sürekli mıknatıslar ve stator demir nüvesi arasındaki etkileşimden ortaya çıkan vuruş momentidir. Vuruş momenti büyüklüğü en önemli optimizasyon parametrelerinden biridir.

EASM makinelerde vuruş momentini azaltmak için kullanılan farklı teknikler vardır. EASM makinenin rotor tarafında mıknatıslara farklı şekillerde (üçgen, dairesel, yamuk) kaykısı vermek (Aydın, 2008), mıknatısların gruplanması (Hüner & Çolak, 2023), mıknatıs yerleştirme açılarının değiştirilmesi (Hüner & Zeka, 2020), farklı şekle sahip mıknatısların kullanılması (üç-gen, dikdörtgen, “yamuk) (Gharehseyed & ark., 2023), mıknatısların yüzeyinin sinüsoidal şeklinde yapılması (Nazir & ark., 2022), rotor ve stator arasındaki hava aralığının artırılmasıdır (Hüner & Aküner, 2012). EASM makinenin stator tarafında ise farklı oluk kutup sayısı kombinasyonlarının uygulanması (Kumar & El-Refaie, 2022), oluk açıklıklarının değiştirilmesi (Sergeant, Vansompel & Dupre, 2016), stator demir nüvesinde yumuşak manyetik malzemelerin kullanılmasıdır (Posko-vic & ark., 2022).

EASM makinelerde önemli çalışmalardan biri de alan zayıflatma tekniğidir. EASM makine yapısı gereği sürekli mıknatıslar dolayı sabit bir hava aralığı manyetik akısına sahiptir. Elektrik makinelerinde değişken yük koşullarında devir sayısının değişmesi nedeniyle hava aralığı manyetik akısını kontrol etmek önemlidir. Bunun için kontrol devresinde d-q eksenlerine uygulanan akımın kontrol edilmesine dayanan yöntemler (Xu & ark., 2020) ve

rotor üzerinde mıknatısların yanında ferromanyetik bölgeler oluşturarak manyetik alanın yön değiştirilmesine dayanan teknikler mevcuttur (Aydin, Huang & Lipo, 2002).

EASM makinelerde diğer çalışmalar ise prototip uygulamalar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Gerçekleştirilen prototip EASM makineler radyal akılı makinelerin kullanıldığı yerler için üretilmekte ve radyal akılı makineler ile karşılaştırılarak performansları değerlendirilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile EASM makineler hakkında genel bilgi verildikten sonra ta-sarımı yapılacak EASM mikro generatörün 3d modeli ve ANSYS Maxwell yardımıyla manyetik analizleri verilmiştir. Son bölümde elde edilen sonuçlar verilerek önerilen tasarımın minimum su akışının olduğu yerlerde elektrik üretimi için güneş enerjisine iyi bir alternatif olduğu ortaya konmuştur.

2. Materyal ve Metot

Yapılan bu çalışmada akarsu, dereler veya minimum su akışına sahip yerlerden elektrik enerjisi elde etmek için düşük maliyetli EASM mikro generatör önerilmiştir. Bu bölümde EASM mikro generatörün 3d katı modeli, manyetik eşdeğer devresi, ANSYS maxwell modeli, manyetik analizleri ve hava aralığı optimizasyonu verilmiştir. Böylelikle önerilen EASM mikro generatör basit yapısı ve düşük maliyeti ile küçük cihazların elektrik enerjisi ihtiyacını su akışından elde etmek için idealdir.

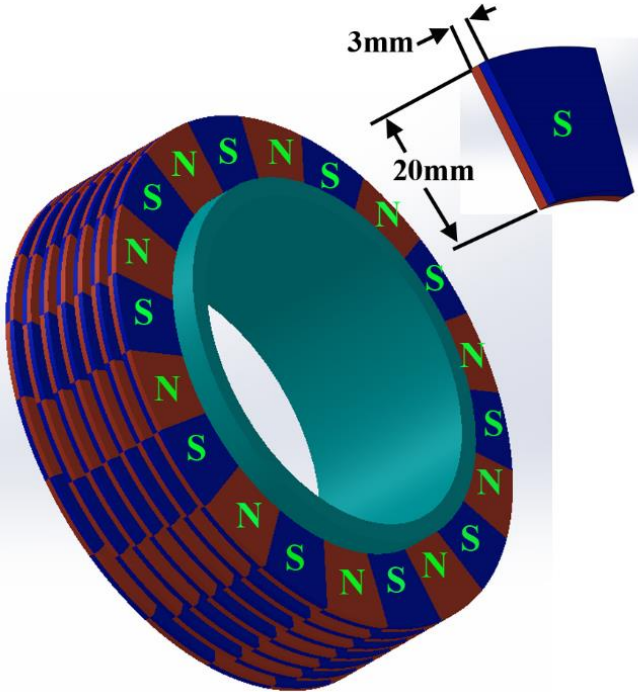
2.1. Tasarımın 3D modeli

Tasarımı yapılan EASM mikro generatörün parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. EASM mikro generatör 20 kutuplu yapısı ile toplam 7 adet rotor ve PCB’den tasarlanan 6 adet stator yapısından oluşmaktadır.

Tablo 1. EASM mikro generatör parametreleri

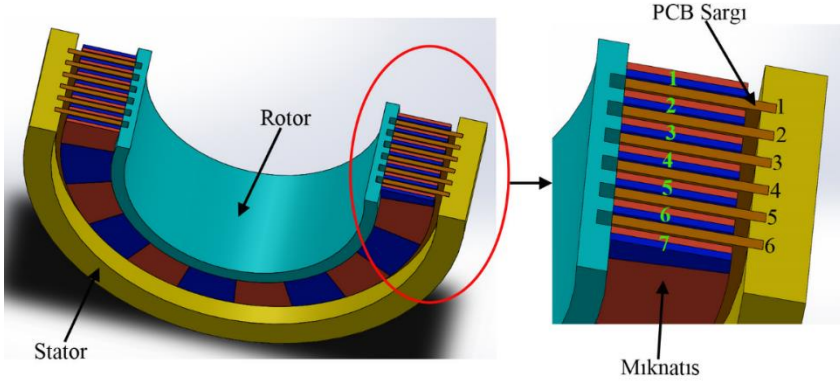
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Rotor dış çapı	140 mm	Stator dış çapı	165 mm
Rotor iç çapı	90 mm	Stator iç çapı	145 mm
Kutup sayısı	20	Stator uzunluk	50 mm
Mıknatis yerleşme çapı	100 mm	PCB iç çapı	100 mm
Mıknatis uzunluk	20 mm	PCB dış çapı	150 mm
Mıknatis kalınlık	2 mm	PCB genişliği	3 mm
Mıknatis iç yay uzunluğu	15,7 mm	PCB sayısı	6

Tablo 1’de verilen parametrelere göre EASM mikro generatör rotorunun 3d katı modeli Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de görüldüğü üzere 20 kutuplu 7 adet rotor bulunmaktadır. Tasarlanan mikro generatör rotorunun iç çapı 90mm genişliğinde olup buraya yerleştirilecek kanat yapısı ile küçük su akıntılarından enerji üretilmesi temel hedeflerdendir.



Şekil 1. EASM Rotor katı modeli

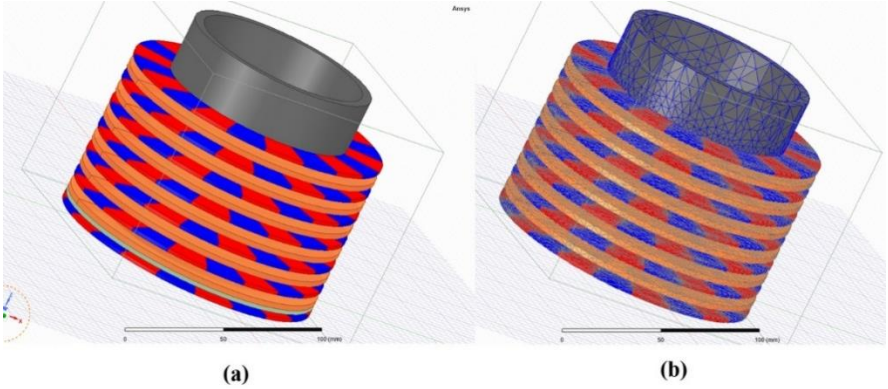
Şekil 2’de EASM mikro generatörün $\frac{1}{2}$ katı modeli verilmiştir. EASM mikro generatörün stator yapısı 6 adet PCB’den oluşmaktadır. Önerilen EASM mikro generatörün kompakt yapısı üretim açısından da düşük maliyetlidir.



Şekil 2. EASM $\frac{1}{2}$ katı modeli

2.2. Tasarımın ANSYS Maxwell modeli

Tasarımı yapılan EASM mikro generatörün ANSYS modeli ve mesh yapısı Şekil 3’de verilmiştir. Yapılan çalışmada tasarımın ANSYS Maxwell elektromanyetik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte ileriki çalışmalarda transient analizleri ile modelin elektriksel parametrelerinin elde edilmesi mümkündür. Bu çalışmada öncelikle elektromanyetik analizler yardımıyla tasarımda hava aralığı manyetik akısının değişim incelenmiştir. Bunun için öncelikli olarak Şekil 3a’da verildiği üzere 3d ANSYS Maxwell modeli elde edilmiştir. İkinci aşamada Şekil 3b’de verilen mesh yapısı oluşturularak sonlu elemanlar yardımıyla analiz yapan ANSYS Maxwell 3d modeli analizlerin gerçekleştirilmesi için ön koşullar sağlanmıştır.

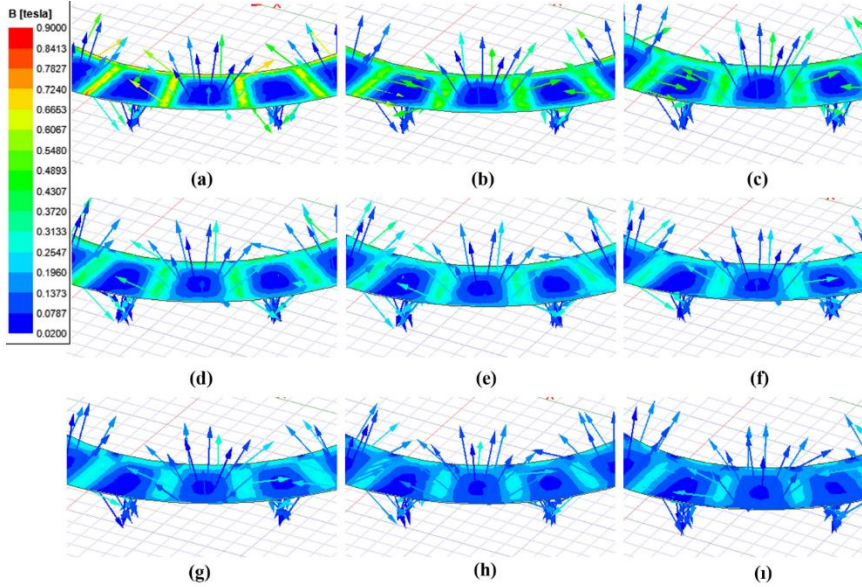


Şekil 3. EASM mikro generatör a) ANSYS model b) Mesh yapısı

2.3. Tasarımın manyetik analizleri

EASM mikro generatör için ANSYS Maxwell analizleri hava aralığı manyetik akısını optimize etmek için değişken hava aralığında oluşturulan yüzey boyunca manyetik akı yoğunluğunun değişimi incelenmiştir. EASM mikro generatör tasarımında PCB kalınlığı 3mm, mıknatıs kalınlığı 2mm için hava aralığı 0,5mm-4,5mm için hava aralığının orta noktasında belirlenen yüzey boyunca manyetik akı yoğunluğunun değişimi elde edilmiştir.

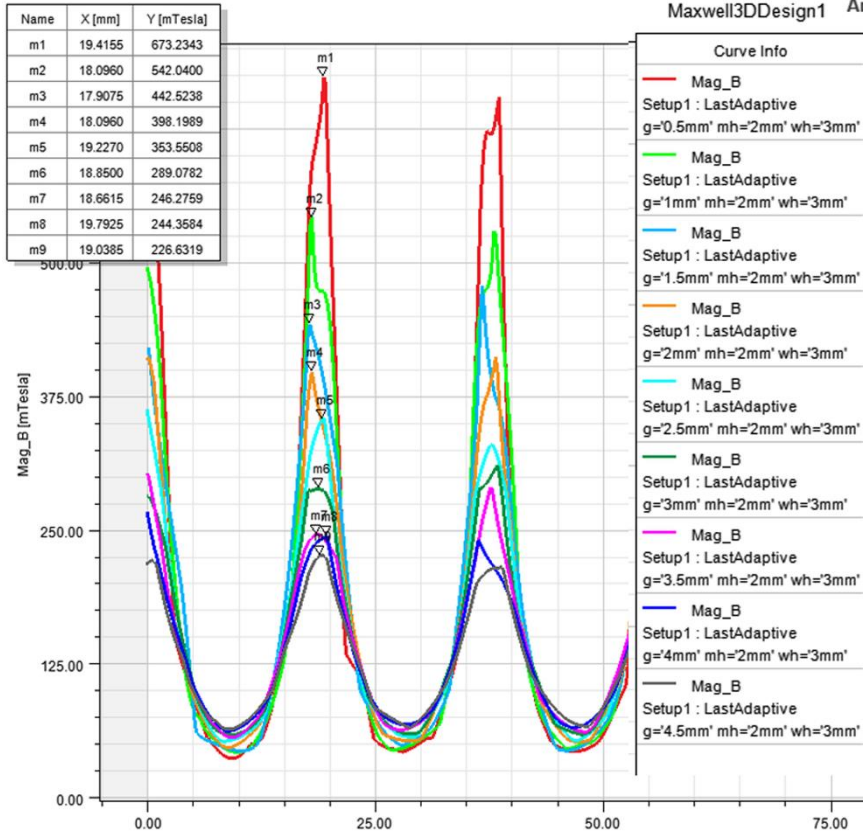
Şekil 4'de tasarımın hava aralığı manyetik akı yoğunluğu değişimi verilmiştir. Hava aralığı 0,5mm için iki rotor arasındaki toplam mesafe (3mm PCB + 2x hava aralığı) 4mm'dir. Bu durumda Şekil 4a'da görüldüğü üzere $B=0,66$ tesla düzeyindedir. Şekil 4ı'da iki rotor arasındaki mesafe 12mm'dir. Bu durumda Şekil 4ı'da görüldüğü üzere $B=0,25$ tesla düzeyindedir.



Şekil 4. EASM mikro generatör değişken hava aralıkları için ANSYS Maxwell analizleri a) 0,5mm b) 1mm c)1,5mm d)2mm e)2,5mm f)3mm g)3,5mm h)4mm ı)4,5mm

Elektrik makinalarında hava aralığı akısının tork üzerinde direkt etkisi vardır. Tasarımı yapılan EASM mikro generatör olduğu için hava aralığı akısının yapılan çalışmalarda 0,5 tesla civarında olması gerektiği belirtilmiştir. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada elektromanyetik analizler yardımıyla sargıların bulunduğu manyetik olmayan PCB kalınlığının ve hava aralığının optimum değerleri elde edilmiştir.

Şekil 4’de hava aralığı manyetik akı yoğunluğunun 0,5mm-4,5mm aralığındaki değerleri verilmiştir. Şekil 5’de ise elde edilen hava aralığı manyetik akı yoğunluğu değerlerinin maksimum değerleri elde edilmiştir. Tasarımı yapılan EASM mikro generatör için hava aralığı 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 mm için sırasıyla manyetik akı yoğunluğu değerleri 0.673, 0.542, 0.442, 0.398, 0.353, 0.289, 0.246, 0.244, ve 0.226 tesladır.



Şekil 5. EASM mikro generatör hava aralığı manyetik akı yoğunluğu değerleri

3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Son yıllarda eksenel akılı makineler ile ilgili yoğun çalışmalar yapılmıştır. Tasarım 20 kutuplu 7 adet rotor ve PCB'den yapılan 6 adet statordan oluşmaktadır. Yapılan bu çalışma ile statoru PCB'den oluşan düşük maliyetli bir nüvesiz generatör tasarlanmıştır.

Yapılan bu çalışma ile statoru PCB'den yapılan nüvesiz tipli EASM mikro generatörün ANSYS Maxwell ile manyetik analizleri gerçekleştirilerek optimum hava aralığı değeri ve iki rotor arasındaki mesafe belirlenmiştir.

Tasarımı yapılan EASM mikro generatörün ANSYS Maxwell manyetik analizleri incelendiğinde hava aralığı manyetik akısının 0.5 tesla optimum değeri için hava aralığı 1mm durumunda $B=0.542$ tesla, hava aralığı 1.5mm durumunda $B=0.442$ tesla değeri elde edilmiştir. Tasarımda hava aralığı 1mm, 1.5mm olarak seçilen iki değer için iki rotor arasındaki manyetik olmayan toplam mesafe ise sırasıyla 5mm, 6mm'dir.

Tasarımı gerçekleştirilen EASM mikro generatör için ANSYS Maxwell manyetik analizleri ile optimum hava aralığı değerleri belirlenerek PCB'den üretilen nüvesiz tip generatör için ileriki çalışmalarda transient analizlere ek olarak prototip üretim çalışmaları gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte farklı alanlarda motor uygulamaları üzerinde de çalışılması önemlidir.

KAYNAKÇA

Aydin, M. (2008). Magnet skew in cogging torque minimization of axial gap permanent magnet motors. *2008 18th International Conference on Electrical Machines*, 1-6.

Aydin, M. Huang, S. & Lipo, T. A. (2002). A new axial flux surface mounted permanent magnet machine capable of field control. *Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No.02CH37344)*, Pittsburgh, PA, USA, 2: 1250-1257. doi: 10.1109/IAS.2002.1042719.

Can, B. & Yıldırım, E. (2019). Yeni bir 3 Fazlı Disk Tipi Enine Akıllı Generatörün Tasarımı ve Vuruntu Momentinin Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasa-rım ve Teknoloji*, 7(4), 893-902. 10.29109/gujsc.603897

Gharehseyed, S. et al. (2023). Pole shape design of ring winding axial flux permanent magnet used in a direct-drive electric boat for cost-efficient cogging torque alleviation. *IET Electr. Power Appl.* 17(8), 1041–1054. doi:10.1049/elp2.12321

Hüner, E. & Aküner, C. (2012). Theoretical And Experimental Analysis Of Open Slotted Axial Flux Permanent Magnet Electrical Machine, *Energy Education Science And Technology Part A-Energy Science and Research*, (29)2, 731 – 740.

Hüner, E. & Çolak, Y. (2023). Experimental Investigation of Magnet Grouping Technique in Reduction of Cogging Torque and Total Harmonic Distortions in the Axial Flux PM Generator for Direct Drive Wind Turbine, *Electric Power Components and Systems*, 51(18), 2181-2192. doi: 10.1080/15325008.2023.2227177

Hüner, E. & Zeka, G. (2020). Reduction of Cogging Torque and Improvement of Electrical Parameters in Axial Flux Permanent Magnet (AFPM) Synchronous Generator with Experimental Verification, *Progress In Electromagnetics Research C*, 104, 99-113. doi:10.2528/PIERC20050302

Kumar, P. & EL-Refaie, A.M. (2022). Effect of Slot-Pole Combination on Performance of a Dual Rotor Halbach-Array Axial Flux Permanent Magnet Machine Enabled by Additively

Manufactured Winding, 2022 *International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Valencia, Spain, 1962-1968. doi: 10.1109/ICEM51905.2022.9910817.

Nazir, M. et al. (2022). Investigation of sinusoidal shaped rotor to reduce torque ripple in axial flux permanent magnet machine, *International Journal of Ambient Energy*, 43:1, 8113-8122. doi:10.1080/01430750.2022.2091035

Polat, M. & Akıncı, R. (2020). Elektrikli Araçlar İçin Eksenel Akılı Çift Rotorlu Sabit Mıknatıslı Senkron Motor Tasarımı ve Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(2), 345 - 358.

Pošković, E. et al. (2022). Innovative SMC Insulation Technique Applied to Axial Flux Machine Prototypes, 2022 *International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Valencia, Spain, 565-571. doi: 10.1109/ICEM51905.2022.9910625.

Sergeant, P. Vansompel, H. & Dupre, L. (2016). Influence of stator slot openings on losses and torque in axial flux permanent magnet machines, *Mathematics and Computers in Simulation*, 130, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2016.03.002>.

Xu, D. et al. (2020), Investigation of cogging torque reduction for a 6/10 hybrid axial field flux-switching permanent magnet machine by harmonic field current injection. *IET Electr. Power Appl.*, 14: 2499-2506. doi:10.1049/iet-epa.2020.0483

BÖLÜM III

Elektronik Sistemlerde Elektrostatik Elektrikten Korunma Yöntemleri

Musa Faruk ÇAKIR¹

Giriş

Statik elektriğe duyarlı devre elemanları ile çalışılırken dikkat edilecek en önemli konu statik elektriktir. Elektronikçiler tarafından “sinsi düşman” olarak tanımlanan statik elektrik, sürtünme ile oluşan birkaç bin voltluk bir gerilimdir. Farkına varılmadan duyarlı devre elemanları üzerinden deşarj olur ve kalıcı hasar bırakır. Elektrostatik yükün oluşumu engellenemeyeceğine göre, çalışılan ortamlarda bir takım önlemler alınmalıdır.

ESD, elektrostatik deşarj demektir. Statik elektrik günlük bir olgudur. Bir odada halı üzerinde yürüdükten sonra kapı koluna dokunduğumuzda veya arabadan indiğimizde, çok az da olsa statik bir şok yaşamışsınız. Diğer statik etkiler, televizyon veya bilgisayar ekranına toz parçalarının yapışması, bazı giysilerin giyilirken veya vücuttan çıkarılırken oluşan çıt sesleridir. Statik elektriğin bazı etkilerini algılayabildiğimiz halde, düşük seviyede

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik Otomasyon Bölümü, mcakir@karatekin.edu.tr

olanlarının etkilerini duyamayız, göremeyiz veya hissedemeyiz. Fakat bunlar hassas elektronik devre elemanlarına zarar verebilir. Statik elektrik, umulmayacak bir şekilde ve hızla nesneler üzerinde yüksek gerilimler oluşturabilir.

1.ESD Kaynaklı Hataları Önleme Aşamaları

ESD kaynaklı hataları önlemede temel yaklaşım devre tasarımından başlamaktır. Yüksek ESD dayanımı olan devre elemanları kullanmak ilk yapılması gereken iştir. Bu işlem, ESD'nin neden olduğu hataların etkisini azaltmaktadır. Elektromanyetik İnterferans (EMI) ve ESD yakın ilişkilidir ve her ikisi de benzer yöntemlerle kontrol edilebilir (Mardiguian, 2011).

Elektronikte ESD'ye karşı koruma kabaca üç aşamada yapılır:

PCB'nin (Printed Circuit Board) uygun düzenlenmesi ile koruma

ESD'yi önlemek için devrenin doğru tasarlanmasından başka, baskılı devrenin (PCB) tasarım ve düzenlenmesi de son derece önemlidir. ESD'yi önlemek için tasarlanan PCB, daha sonra karşılaşılabilecek pahalı onarımları önleyecek ve ayrıca üretilen cihazın güvenilirliğini arttıracaktır (Vorshevski & Grishakov, 2017).

PCB tasarımında ESD'den kaynaklanacak problemleri minimum seviyeye indirecek bir kaç tasarım kuralı vardır.

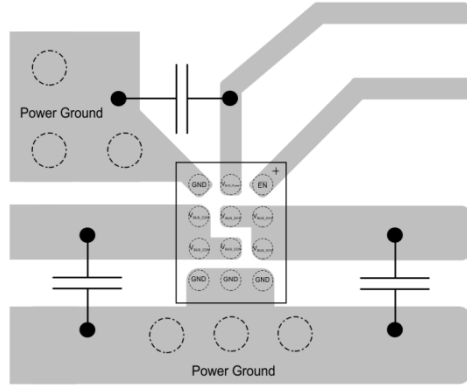
-Devrede döngülerden kaçınmak

Düz bir iletken yol üzerindeki döngüler, indüklenme etkisinden kaynaklanan istenmeyen akımların doğmasına neden olabilir. Bu ise performansı azaltır. Ayrıca, devre döngülerinden kaçınmak, ESD koruması için önemlidir. Çünkü, istenmeyen akım pikleri ve gerilimleri her hangi bir döngü içinde indüklenir.

-Baskılı devre üzerindeki toprak yüzeyinden faydalanmak

Toprak hatlarının PCB üzerindeki kavisli veya sipral döngülerini azaltmanın bir yolu, baskılı devre üzerindeki toprak yüzeyini kullanmaktır. Geniş toprak yüzeyi, daha çok elektrik

yükünü toprağa akıtacaktır. Böylece, istenmeyen her hangi bir sinyal etkili bir şekilde topraklanacaktır.



Şekil-1 Toprak Yüzeyinin Geniş Tutulması

-İletken yol boyunu azaltmak

Her hangi bir iletken tel anten gibi çalışır. Böyle bir anten, ESD palsleri tarafından oluşturulan çok kısa yükselme zamanlı, yüksek gerilim piklerini alma kapasitesine sahiptir. İletken yolların boyunu kısaltılmak, PCB tarafından alınan yayılmış enerjinin miktarını azalacaktır. Böylece, ESD'den kaynaklı piklerin etkisi de azalacaktır.

-Koruma devreleri etrafındaki kaçak indüktansın azaltılması

Bir çok elektronik devre ESD koruma devresi ile birleşiktir. Eğer kaçak indüktans değeri küçükse, bu yöntem etkili olabilir. PCB tasarımından kaynaklanan kaçak indüktans, iletken yol uzunluklarının özellikle kısayol genişliklerinin artırılmasıyla azaltılır.

Duyarlı parçaların PCB'nin ucuna yakın yerleştirmekten kaçınmak

Statik deşarjdan kaynaklanan piklerin seviyesi, baskılı devrenin uzantılarına yaklaştıkça artar. Her hangi bir duyarlı devre elemanını bu alandan uzak tutmak akıllıca olur. Giriş/Çıkış iletken yollar, bazı katlarda PCB'nin ucunda olabilir. Fakat, bunlar mümkün olduğu kadar kenardan uzağa yerleştirilmelidir.

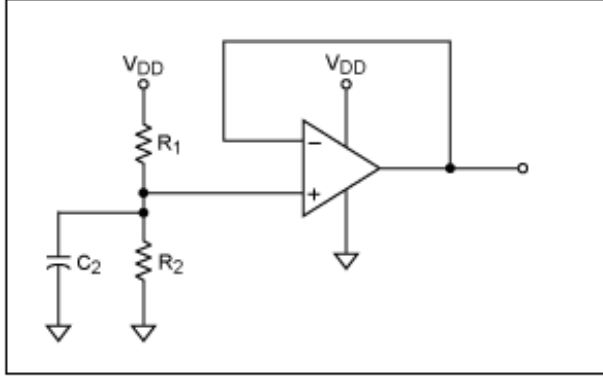
2-Elektronik Devrelerin Korunması

Bir elektronik devreyi ESD hasarına karşı koruma, tasarımcının sorumluluğundadır. Uygulamada her birinin güçlü ve zayıf yönleri olan birkaç yöntemden biri tercih edilmektedir (Sadiku, & Akujuobi, 2004).

2.1. Kondansatör koruması

Bu yöntem daha çok yüksek hacimli cihazlar ve otomotiv ekipmanları için kullanılır. Giriş uçları, bu uçlar ile toprak arasına basitçe paralel bir kondansatör bağlamakla korunmuş olur. Temel düşünce, uygun değerli bir kondansatörün, bağlandığı tümleşik devre uçlarındaki ESD değerini aşmadan tehlikeli statik gerilimi toprağa akıtmaktır. Bunu anlatmak için ESD dayanım değeri 2 kV olan, dış etkiye açık bir tümleşik devre ucunu dikkate alalım. Eğer bu uç ile toprak arasına 1000 pF'lık bir kondansatör bağlanırsa, kondansatör, maksimum test voltajının (15 kV) 1/10'una (1.5 kV) şarj olur. Bu değer, tümleşik devrenin ESD dayanma değerinin altında olduğundan, uygun kabul edilir. Uygulamada genellikle bu yöntem kullanılmaktadır.

Şekil-2'deki devrede opamp'ın + ucu, C_2 kondansatörü ile ESD'ye karşı korunmuştur. Kondansatörün boş olduğu kabul edilirse, kısa devre durumundadır. Devreye yüksek gerilim uygulandığında, enerjiyi toprağa akıtan kondansatör yüklenir ve açık devre durumuna geçer. İkinci bir yüksek gerilim palsinde kondansatörün çalışabilmesi için boşalıp, kısa devre durumuna geçmesi gerekir. Bu ise R_2 direnci üzerinden yapılır.

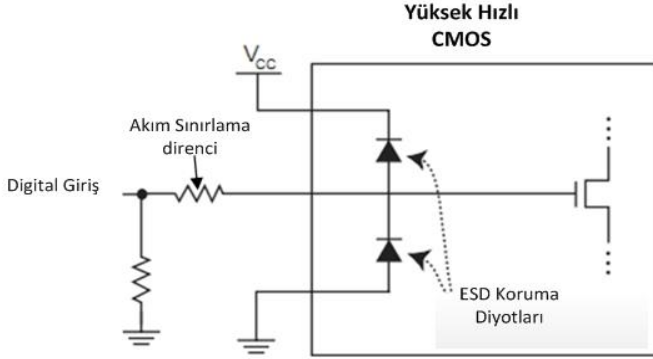


Şekil-2 Kondansatör Koruması

Eğer devre düzenlemesinde aşırı dikkat gösterilirse, devrenin çalışması, bağlanan kondansatörden veya kaçak indüktanstan etkilenmez.

2.2. Direnç Koruması

Direnç koruması için korunacak devre uçlarına seri dirençler bağlanır. Bunlar pik akımlarını sınırlar ve geçici akım-gerilimlerdeki gücün bir kısmının harcanmasına yardım eder. Bu dirence akım sınırlama direnci de denir. Kondansatörlü korumada olduğu gibi, direncin değeri artan empedanstan dolayı devrenin çalışmasını olumsuz etkilememelidir. Bir başka uyarı, dirençlerin ESD'ye karşı duyarlı olmalarıdır. Metal-film dirençler yarıiletken metalizasyona benzer yöntemlerle üretilirler ve benzer ESD sınırlamaları vardır. Bu seri dirençlerin kaçak kapasiteleri bir soruna neden olabilir. Dar bir pik, birkaç pF'lık kaçak kapasite aracılığı ile tümleşik devre üzerinde hasara yol açabilir. Şekil 3'de akım sınırlama direnci kullanılarak CMOS devre elemanının korunması gösterilmiştir (Chun, 2006).

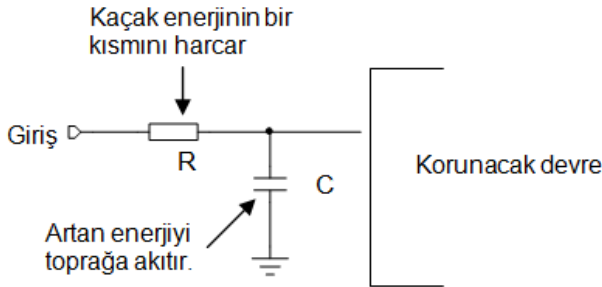


Şekil-3 Yüksek Hızlı Bir CMOS Devre Elemanının Direnç ile Koruması

2.3. Direnç-kondansatör Koruması

Bu yaklaşım, yukarda tartışılan R ve C koruma tekniklerinin karışımıdır. Her korunacak uç için kullanılan iki devre elemanı, maliyeti yükseltip, güvenliği azaltırken, güç harcamasını yükseltir. Şekil-4'deki devrede R direnci giriş akımını sınırlarken, C kondansatörü ani gerilim yükselmelerini toprağa akıtır.

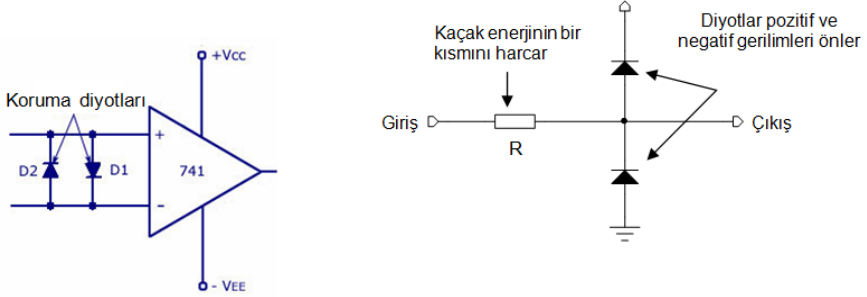
RC devreleri genellikle Ferit nüve ile uyumlu olarak EMI bastırması için kullanılır.



Şekil-4 R-C Koruma Devresi

2.4. Diyot Koruması

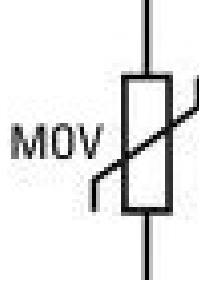
Şekil-5'deki devrede girişlerde gözükten ani yüksek gerilim, polaritesine göre uygun olan diyot üzerinden devresini tamamlar.



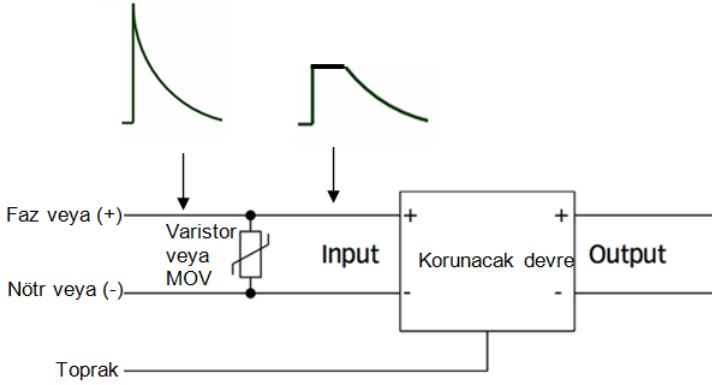
A) Bir opamp girişinin korunması B) Bir devrenin korunması
Şekil-5 Diyotlarla Korumma

2.5. MOV (Metal Oksit Varistor) koruma

Kısaca MOV olarak bilinen Metal Oksit Varistor, doğrusal olmayan, iki yönlü, gerilim bağımlı bir devre elemanıdır. Devrede korunacak nokta ile toprak arasına paralel bağlanır. Normal çalışma gerilimi için MOV yalıttımdır. Ani bir geçici gerilim yükselmesi olduğunda, devrenin çalışma gerilimi MOV'un iletim geriliminin üzerine çıkar. Bu durumda MOV uçlarındaki gerilim güvenli bir seviyeye iner, akım MOV üzerinden toprağa akar. Üzerindeki enerji ise ısıya dönüşür. Kısaca MOV, düşük gerilimlerde yüksek direnç, yüksek gerilimlerde alçak direnç gösteren bir devre elemanıdır. Fakat omik bir ayarlı direnç değildir, potansiyometreden farklıdır. İki ucu arasında sabit tuttuğu gerilim değeri (sıkıştırma – kenetleme gerilimi) diğer koruma elemanlarına göre daha yüksektir. Bunun için de MOV'lar daha çok bir elektronik cihazın şebeke kısmında kullanılır. MOV'un şekli ve sembolü şekil-6'daki gibidir. Şekil-7'de MOV ile bir devrenin korumasını göstermektedir.



Şekil-6 MOV'un Şekli ve Sembolü



Şekil-7 MOV Koruması

MOV elemanı kullanıldığında oluşacak avantaj ve dezavantajlar aşağıda belirtilmiştir.

Avantajları:

- *Ucuz bir koruma şeklidir.
- *Devreye bağlanması kolaydır.
- *TVS diyotları ile kıyaslandığında akım kapasiteleri daha yüksektir.
- *İki ucu arasında sabit tuttuğu gerilim değeri (clamping voltage) daha yüksektir.
- *Tepki süreleri kısadır.

Dezavantajları:

- *Yıldırım gibi yüksek enerjiyi taşıyamaz.
- *Çok fazla enerji MOV'u yakar.

*Çok fazla ardışık pik MOV'un koruma kapasitesini azaltır.

*Devredeki aşırı akımı kontrol edemez.

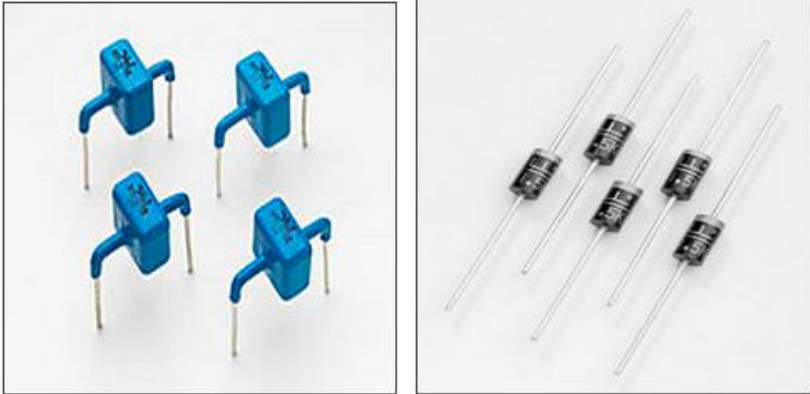
İki ucu arasında sabit tuttuğu gerilimin büyüklüğünden dolayı, çok düşük aşırı gerilim durumunda koruma yapamaz. Örneğin, SFV7D220K MOV'u için maksimum devamlı çalışma gerilimi $14V_{ac}$, $18V_{dc}$, kenetleme gerilimi ise $43V$ 'dur. Daha düşük gerilimler için ayrı koruma devresi gerekebilir. Bu ise fiyatı yükseltir.

MOV Seçimi:

$230V_{ac}$ gerilimli bir şebekeyi dikkate alalım. Eğer MOV kullanarak bir koruma yapılacaksa, kenetleme (sabitleme) gerilim değeri için en iyi seçim $260V$ ile $275V$ arasında olmalıdır. Şebeke geriliminin özel durumlarda kV seviyelerine çıktığını unutulmamalıdır.

2.6. TVS Diyotları ile Koruma:

TVS, Transient Voltage Suppresor (Geçici Gerilimi Bastırma) kelimelerinin baş harflerinden türetilmiş, pn eklemli bir koruma diyotudur. Özellikle duyarlı yarıiletkenleri, geçici gerilim yükselmelerinin hasarından korumak için tasarlanmıştır. Şekil-8 farklı kılıf yapılarındaki TVS diyotlarını göstermektedir.



Şekil-8 Farklı TVS Diyotları



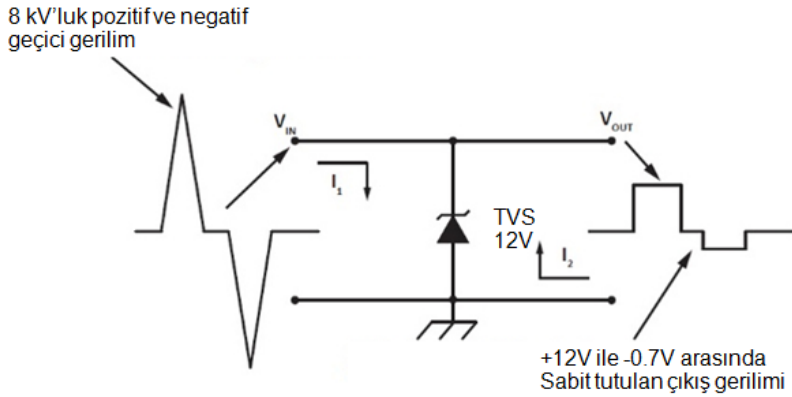
Tek yönlü TVS diyotu



Çift yönlü TVS diyotu

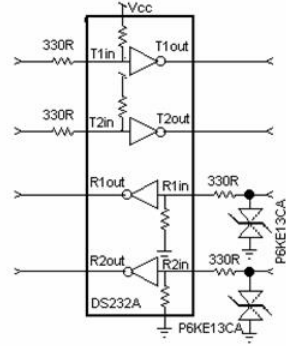
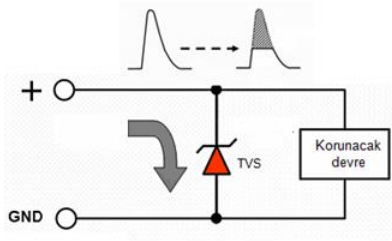
Şekil-9 Tek ve Çift Yönlü TVS Diyotlarının Sembolü

TVS diyotlarının sembolü şekil-9'daki gibidir. Bu diyotlar tek yönlü kullanılabileceği gibi, çift yönlü olarak da kullanılabilirler. Korunacak devreye paralel bağlanırlar. Şekil-10'da tek yönlü korumada bir TVS diyotunun giriş-çıkış gerilimlerini göstermektedir (Yoshida & Endo, 2017).



Şekil-10 12V'luk TVS Diyotunun Giriş-Çıkış Gerilimleri

TVS diyotları korunacak devreye veya elemana paralel bağlanırlar. Şekil-11'de TVS diyotları ile yapılan tek ve çift yönlü korumayı gösterilmiştir.

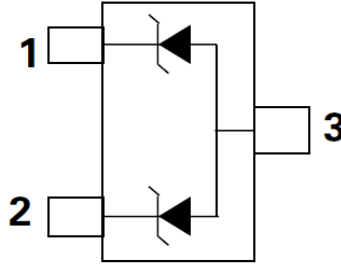


Şekil-11 Tek ve Çift Yönlü TVS Diyotlu Koruma Devresi

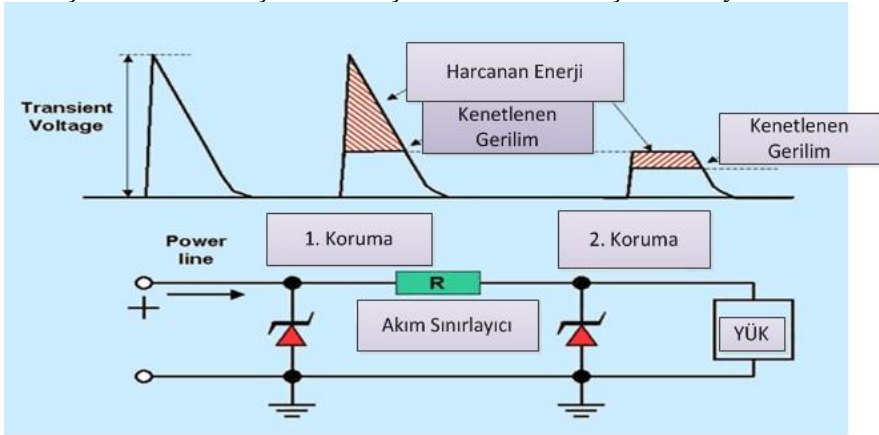
Zener diyotlara benzemekle birlikte, TVS diyotları geçici yüksek gerilimleri bastırmak için tasarlanmışlardır. Elektriksel karakteristiklerini pn (gövde) direnci, doping yoğunluğu ve eklem alanı belirler. Dalgalanma akımı ve gücü, eklem alanı ile orantılıdır. Özellikle yüksek geçici akımları üzerlerine alabilmeleri için eklem kesit alanları büyük yapılmışlardır. Zener diyotlara kıyasla daha fazla güç taşıdıklarından, boyutları daha büyüktür. Tepki zamanları kısadır.

TVS diyotları 5V'dan 440V'a kadar geniş bir gerilim aralığında üretilirler. Son zamanlarda 2.8V ve 3.3V'da çalışan TVS diyotları da üretilmiştir. Hızlı tepki vermeleri ve düşük kenetleme gerilimleri nedeni ile TVS diyotları koruma amacı ile, data ve sinyal hatlarında, mikroişlemcilerde, ac güç devrelerinde ve haberleşme cihazlarında kullanılırlar.

Uygulamada, şekil-12'deki gibi tümleşik devre şeklinde üretilmiş TVS diyotları da vardır. Bunlar şekil-13'deki gibi bağlanarak çok etkili bir koruma sağlarlar.



Şekil-12 Tümlleşik Devre Şeklinde Üretilmiş TVS Diyotları



Şekil-13 Tek Yönlü TVS Diyotları ile İki Aşamalı Koruma

Şekil-13'deki bağlantıya Z-R-Z bağlantısı denir. Bir elektrostatik deşarj oluştuğunda, dalgalanma akımının büyük bir kısmı soldaki TVS diyotu üzerinden, kalan akım R direnci ve sağdaki TVS diyotu üzerinden devresini tamamlayacaktır. Böylece korunacak yük uçlarında tehlikesiz bir gerilim bulunacaktır.

Şekil-13'deki devre iki adet zener diyot veya TVS diyotu ve bir adet direnç yardımı ile de kurulabilir. Tabii ki TVS diyotları daha etkili bir koruma sağlar. Seri direncin değeri büyütülürse, soldaki koruma diyotu üzerinden daha çok akım akar. Buna ek olarak, Z-R-Z düzenlemesi, tümlleşik devre şeklindeki TVS diyotlarının kapasitelerinin sayesinde, C-R-C pi tipi filtre gibi yüksek EMİ (Elektro Mağnetik interferans - parazit) filtreleme performansı sağlar. Bu özellik cep telefonu uygulamalarında geniş

ölçüde kullanılır. Z-R-Z EMİ filtreleri, silisyumdan yapılan aktif ve pasif devre elemanlarının monolitik (tek silisyum parçası üzerinde) tümleşik devre tekniği ile tasarlanır.

Tablo-1, ESD'ye karşı uygulamada en çok kullanılan üç korumanın değişik kriterlere göre karşılaştırmasını göstermektedir.

Tablo-x En yaygın kullanılan üç koruma elemanının karşılaştırılması

KRİTER (ÖLÇÜT)	MOV	TVS	TÜMLEŞİK Z-R-Z
Yön	Sadece iki yönlü	Tek veya iki yönlü	Tek veya iki yönlü
İletime geçme zamanı	500 – 1000 piko saniye	Birkaç piko saniye	Birkaç piko saniye
Tipik kenetleme gerilimi	> 100V	20V'dan 50V'a kadar	< 10V
Kenetl geril./Kırımla gerilim.	--	++	+++
Sızıntı akımı	--	++	+++
Dayanım	+++	+++	+++
Koruma verimliliği	--	++	+++
Kararlılık	Zayıf	Çok iyi	Çok iyi

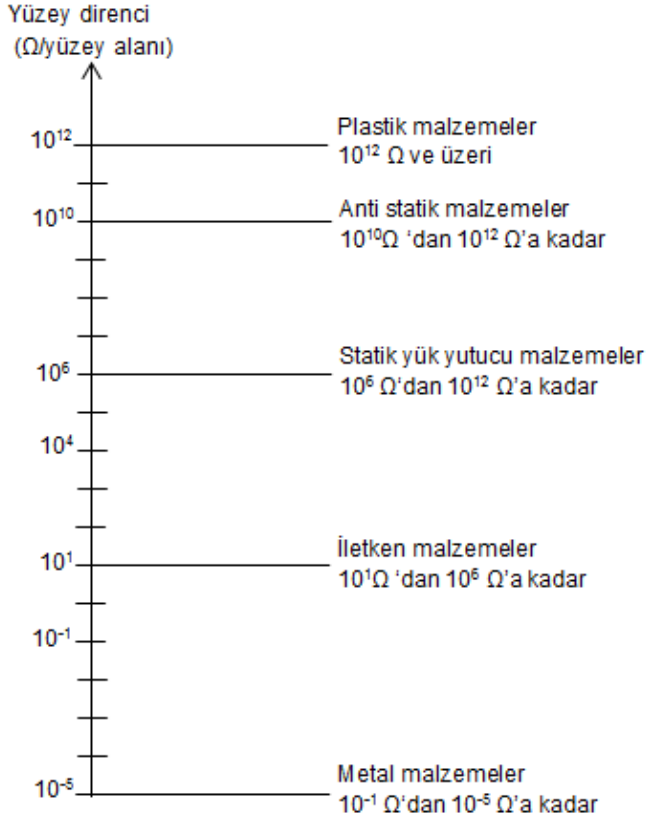
3. Üretim ve Bakım-Onarım Ortamlarında Koruma

Üretimde elektrostatik deşarjın önlenmesi, çalışılan alanı elektrostatik yüklerden korumaya dayanır. Korunan alan küçük bir iş ortamı veya büyük bir üretim alanı olabilir. Çalışılan alanı korumanın temel prensibi, ESD'ye duyarlı elektronik cihazların çevresinde yüksek şarjlı materyallerin bulunmaması, bütün iletken materyallerin ve çalışanların topraklanması ve ESD'ye duyarlı elektronik cihazlar üzerinde elektrik yük birikmesini önlemektir. Çalışma alanının korunması, Uluslararası standartlara, örneğin, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) veya Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü'ne (ANSI) göre yapılır.

ESD'ye duyarlı elektronik devre elemanlarının montajı otomatik makinelerle yapılır. ESD'nin önlemesi, bu gibi makine yüzeyi ile direkt temas halinde olan devre elemanları için önemlidir.

Ayrıca, elektrostatik duyarlı bir devre elemanı, ürünün diğer iletken parçaları ile temas ettiğinde de ESD'yi önleme önemlidir. ESD'yi önlemenin etkili bir yolu, çok iyi iletken olmayan fakat statik elektrik yükünü yavaşça iletir, uzaklaştıran malzeme kullanmaktır. Çünkü, statik elektrik yükünün elektronik devreler/malzemeler üzerindeki en büyük zararı, ani boşalma ile oluşmaktadır. Standartlara göre koruma amaçlı kullanılan malzemeler, statik elektrik yükünü < 2 s. içinde yavaşça boşaltmalıdırlar. Direnç değerleri $10^6 \Omega$ ile $10^{12} \Omega$ arasında olan böyle malzemelere “**Statik yük yutucu malzemeler**” denir. Eğer direnç aralığı $10^{10} \Omega$ ile $10^{12} \Omega$ arasında ise, böyle malzemelere “**Anti-statik malzemeler**” denir. Malzemelerin direnç değerlerine göre sınıflandırılması, şekil-14’de verilmiştir. ESD’ye duyarlı elektronik devre ve elemanlarının otomatik makineler ile üretilirken iletken yüzeye temas eden kısmı, statik yük yutucu malzemelerden yapılmalı ve topraklanmalıdır (Baytekin ve diğerleri 2013).

Bir koruma alanı içinde elektrostatik deşarjın önlenmesi, elektronik devrelerin/devre elemanlarının taşınmasında uygun bir ESD güvenlik poşeti kullanmayı, montajda çalışanların giydiği giysilerin iletken ince tel (lif)lerden yapılmasını, çalışanların vücudunda biriken yüksek statik gerilimi önlemek için bilek ve ayak bantlarını, tehlikeli statik yükleri çalışma alanından uzaklaştırmak için anti-statik paspaslar, döşeme malzemelerini ve nem kontrolünü kapsamaktadır (Geftir,1989).



Şekil-14 Bazı Malzemelerin Elektriksel Dirençleri

3.1 Elektrostatik Koruma Alanı

Elektrostatik koruma alanı, elektrostatik alan ve gerilimleri önemli derecede düşük bir seviyede tutarak statik duyarlıklı devre elemanlarını korumak için oluşturulan güvenli bir alandır. Bir elektrostatik koruma alanının, çalışma bölgesinde nereden başlayıp nerede bittiği açık bir şekilde belirtilen, kesin tanımlanmış sınırları olmalıdır. Yalıtım malzemeleri güçlü elektrostatik deşarj kaynaklarıdır. Bunlar elektrostatik koruma alanı dışındadır. Bu gibi durumlarda elektrostatik yükleri nötralize etmek için iyonizerler gibi özel önlemler alınır. Bütün yalıtkan olmayan ve iletken nesneler

topraklanır. Böylece üzerlerinde elektrostatik yük birikimi meydana gelemmez.

Dikkat; Elektronik alanında çalışan bütün personel (insanlar ve iletken nesneler) topraklanmalıdır. Böylece üzerlerinde yüksek gerilim bulundurmazlar.

3.2 Çalışanların Topraklanması

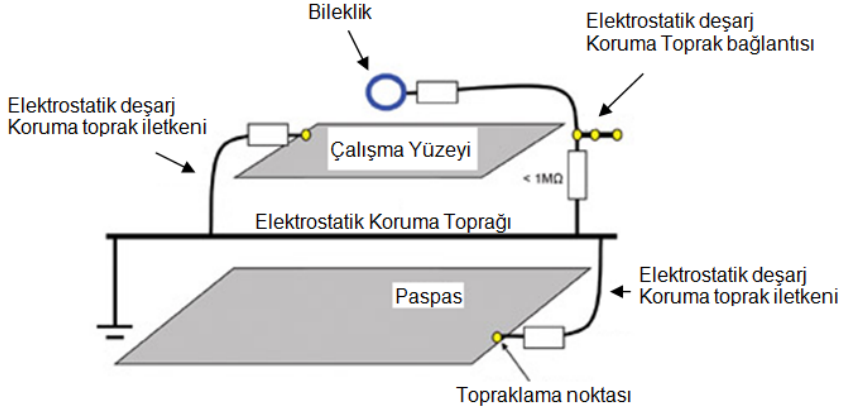
Elektrostatik deşarj koruma alanı tasarımının birinci amacı, elektrostatığe duyarlı devre elemanları ile çalışan bütün personelin topraklanmasıdır. Personelin topraklanmasında tercih edilen yol topraklama bilekliği kullanmaktır. Eğer bu pratik değilse, uyumlu ayakkabı veya topuk kullanılmalı veya döşeme ile uyumlu ayak topraklama bantları kullanılmalıdır. Oturan personel bileklik aracılığı ile topraklı olmalıdır. Oturan bir kişi için ayakkabı topraklaması güvenli değildir. Koltuk üzerinden topraklama güvenilir bir alternatif olarak kabul edilmemelidir. Elektrostatik deşarja duyarlı devre elemanın yerleştirildiği her hangi bir yüzey, elektrostatik deşarj koruma alanı toprağına bağlanmalıdır. İki nokta arasındaki direnç $10^4 \Omega$ ile $10^{10} \Omega$ arasında, toprağına olan direnç ise $7.5 \times 10^5 \Omega$ ile $10^9 \Omega$ arasında olmalıdır (Rosner, 2001).

Bir Elektrostatik korunmuş alan, içinde duyarlı devre elemanları için bir hasara neden olacak cisim veya eylem olmayan alandır. En basit hali ile bir çalışma istasyonu, yük tüketen bir paspas, bir bilek bandı ve her ikisi için ortak topraklama tesisinden meydana gelir. Elektrostatik korunmuş alan için kullanılan ekipman, seçilen standarda uygun olmalıdır.

3.3. Elektrostatik Deşarj Koruma Alanının Topraklanması

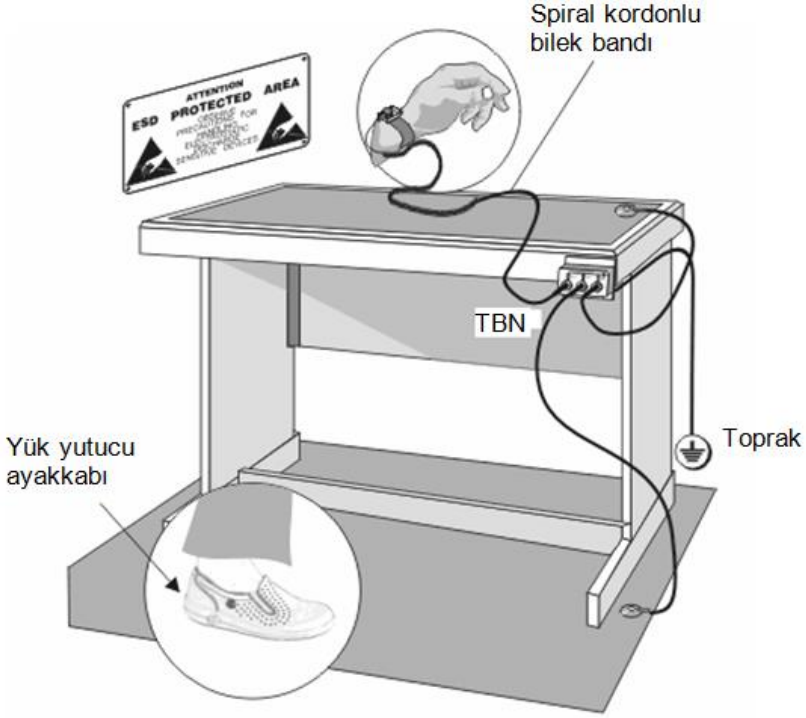
Elektrostatik deşarj koruma alan topraklaması, toprağına, genellikle de şebekenin ana koruyucu topraklamasına düşük dirençli ($< 2 \Omega$) bir yol sağlayan topraklamadır. Şekil-15 temel bağlantıyı göstermektedir. Tek bir toprak bağlantı noktasına, bir koruma ünitesi bağlanmalıdır. Bunlar genellikle bilek bantlarıdır. Operatörler ve ziyaretçiler için de ulaşılabilir olan toprak bağlama noktaları

olmalıdır. Bunlar $10^6 \Omega$ 'a kadar bir direnç üzerinden elektrostatik koruma toprağına bağlanırlar. Yüzey - toprak direnci, toprağı kadar olan yoldaki her bir direncin dikkate alınması ile veya doğrudan toprağı bağlanmış malzemenin direnci ile belirlenir (Vinson, 2003).



Şekil-15 ESD Koruma Alanı Topraklaması

Elektrostatik deşarj koruma iletkenleri, elektrostatik koruma toprağı ile bağlantıları sağlar. Gerekli direnç değerini elde etmek için, bir veya daha fazla direnç toprak iletkenine ilave edilebilir.(Voldman, 1999). Eğer tek bir direnç kullanılacaksa, topraklama noktasının sonunda olmalıdır. ESD koruma alan topraklamasının bir çalışma ortamındaki dağıtımı şekil-16'daki gibidir.



Şekil-16 ESD koruma alan topraklamasının TBN (Toprak Bağlantı Noktası) ile dağıtım

4. ESD Korumalı Bir Alanda Çalışma Düzeni

1-Üzerinizde statik elektrik yükü üreten her hangi bir parça olmamalıdır. Varsa çıkartılmalıdır.

2-Uyarı ve dikkat işaretlerine uyulmalıdır.

3-Anti-statik kıyafetler (Tişört, iş önlüğü, iş tulumu gibi) giyilmelidir.

4-Anti-statik ayakkabılarınızı giyilmeli veya ayakkabı/topuk bantlarınızı takıp, topuk ve ayakkabı içine temas ettiğinden emin olunmalıdır.

5-Anti-statik eldivenler takılmalıdır.

6-Her hangi bir duyarlı devre elemanına/devreye dokunmadan önce 2s kadar beklenmelidir. Ayakkabı ve topuk

bantları statik yük oluşumunu engellemez, sadece güvenli bir seviyeye indirir.

7-Koruma alanı dışında takılan ayakkabı/topuk bantları özelliğini kaybedebilir. Günde iki defa kontrol edilmelidir.

8-Duyarlı devre elemanlarının/devrelerin taşınmasında ESD korumalı taşıma kutularını kullanılmalıdır.

9-Daha büyük boyutlu taşımalarda tekerlekleri anti-statik malzemeden yapılmış veya iletken bir zincir ile toprakla temas halinde olan taşıma arabaları kullanılmalıdır.

10-Döşemelerin temiz olmasına dikkat edilmeli ve tozun yalıtkan gibi davranacağını unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

Baytekin, H. T., Baytekin, B., Hermans, T. M., Kowalczyk, B., & Grzybowski, B. A. (2013). Control of surface charges by radicals as a principle of antistatic polymers protecting electronic circuitry. *Science*, 341(6152), 1368-1371.

Chun, J. H. (2006). ESD protection circuits for advanced CMOS technologies. Stanford University.

Gefter, P.L. The electrostatic phenomena in processes of processing of chemical fibers (Legprombytizdat, Moscow, 1989).

Mardiguian, M. (2011). Electro Static Discharge: Understand, Simulate, and Fix ESD Problems. John Wiley & Sons.

Rosner, R.B. (2001). "Conductive materials for ESD applications: An overview," *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, vol. 1, nr. 1, martie, , pp. 9- 16.

Sadiku, M. N., & Akujuobi, C. M. (2004). Electrostatic discharge (ESD). *IEEE potentials*, 23(5), 39-41.

Vinson, J. E. (2003). *ESD design and analysis handbook*. Springer Science & Business Media.

Voldman, S. H. (1999). The state of the art of electrostatic discharge protection: Physics, technology, circuits, design, simulation, and scaling. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 34(9), 1272-1282.

Vorshevskii, A. A., & Grishakov, E. S. (2017). The influence of electrostatic charge on the stability of electronic and electrical equipment. *Russian Electrical Engineering*, 88, 805-809.

Yoshida, T., & Endo, M. (2017, October). A study on ESD protection characteristic difference measurement of TVS diodes by VNA. In *2017 IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing)* (pp. 1-4). IEEE.

BÖLÜM IV

Enerji Bitkileri

Ayben POLAT BULUT

Giriş

Fosil yakıt kaynaklı enerjinin sebep olduğu çevre kirliliği ve karbon emisyonları sonucu artan endişeler son yıllarda dünya çapında yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi artırmıştır (Zhang & ark., 2021). Son yıllarda büyüyen enerji ihtiyacından dolayı fosil yakıtların tüketimi, çevre kirliliği ve enerji kaynaklarının tükenmesi şeklinde iki önemli krize yol açmıştır (Parsaee, Kiani & Karimi, 2019). Biyokütleden elde edilen biyoenerji, karbon azaltma stratejilerine önemli ölçüde katkıda bulunabilen büyük ve çok yönlü bir yenilenebilir enerji türüdür (Zhang & ark., 2021). Enerji güvenliği, küresel ısınma ve buna bağlı iklim değişikliği etkilerine yönelik artan endişe nedeniyle; biyokütleyle dayalı yenilenebilir enerji, bu zorlukların üstesinden gelmeye yardımcı olabilecek uluslararası bir araştırma gündemi olarak ortaya çıkmıştır (Pandey, Bajpai & Singh, 2016).

Enerji bitkilerine olan ilgi, küresel enerji ihtiyaçlarını bir dereceye kadar karşılamaya yardımcı olabilecek karbon nötr, temiz ve çevre dostu bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak potansiyel

kullanımı nedeniyle küresel olarak artmıştır (Pandey, Bajpai & Singh 2016). Enerji bitkileri olarak adlandırılan özel enerji biyokütle üretimi, bazı ülkelerde sıvı biyoyakıt üretimi için çoğunlukla tarımsal mahsullerin (esas olarak yıllık mahsuller) kullanımıyla ilgili olarak hızlı bir gelişme yaşamıştır (Abreu & ark., 2022).

Enerji bitkileri bir tür biyokütledir. Enerji bitkileri, bitkinin tamamından veya bir kısmından enerji (elektrik veya sıvı yakıtlar) üretmek amacıyla özel olarak yetiştirilen mahsullerdir. Elektrik ve ısı oluşturmak için mahsullerin doğrudan yakılması veya gazlaştırılması yoluyla veya araçlarda kullanılmak üzere etanol gibi sıvı yakıtlara dönüştürülerek enerji üretilebilir (Kocar, 2008). Biyoenerji bitkilerinin güneş ışığını yakalama ve kimyasal enerjiye dönüştürme etkinliği, büyük ölçüde fotosentetik yetenekle ilgili fizyolojik faktörlere bağlıdır (Khan & ark., 2017). Enerji bitkileri, geleneksel tarımsal mahsullere göre daha düşük yönetim yoğunluğuna ve üretim maliyetlerine sahip olabilir, bu nedenle çiftçiler için ilgi çekicidir (Xu & ark., 2023). Enerji bitkileri, özellikle yakıt olarak kullanılmak üzere yetiştirilir ve hektar başına yüksek verim sunar. Genel olarak, özel mahsullerden biyoenerji üretimi potansiyeli, arazi mevcudiyetine ve enerji mahsulü verimine bağlıdır (Zhang & ark., 2021). Bir enerji mahsulü, ticari enerji üretiminde uygulama bulmak için temel özelliklerin çoğunu karşılamalıdır. Belirleyici özellikler arasında sürdürülebilirlik, yüksek fotosentetik oran, verimli endüstriyel dönüşüm, çok yıllık büyüme, genetik gelişme olasılığı ve çevresel tehlike olmaması yer alır (Khan & ark., 2017). İdeal enerji bitkisi, verimli güneş enerjisi dönüşümüne, düşük zirai kimyasal girdilere ihtiyaç duyar ve hasat sırasında düşük nem seviyelerine sahiptir. Mahsulün seçimi; nihai kullanım, işleme kolaylığı, iklim ve toprak koşullarına uygunluk, teslimat maliyetleri, hasat zamanlaması ve ekipman ve üretim gereksinimleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Diğer biyokütle kaynakları gibi, enerji bitkileri de neredeyse her türlü enerji formuna dönüştürülebilir. Enerji mahsulleri ayrıca birim arazi alanı başına doğal meşcerelere göre önemli ölçüde daha yüksek verime sahiptir. Enerji bitkileri, hem sera gazı emisyonlarının azaltılmasına hem de

çiftçilerin gelir durumunun istikrar kazanmasına katkıda bulunabilir. Enerji mahsulleri, özellikle ağaçlar, su yolları boyunca ekildiğinde herbisitleri, böcek ilaçlarını ve fazla gübreleri su akışlarından yakalayıp uzaklaştırdıklarından dolayı biyolojik filtre görevi görerek çevreyi iyileştirebilir. (Kocar, 2008). Otsu bitkiler, hızlı büyüyen odunsu bitkiler, yem bitkileri (yonca, yonca, darı ve miscanthus), şeker bitkileri (şeker kamışı, şeker pancarı, lif ve tatlı sorgum), tahıllar (mısır, arpa ve buğday) ve yağlı tohumlar (soya fasulyesi, kanola, ayçiçeği, aspir, kolza ve pamuk) gibi güneş enerjisini yüksek verimlilikle biyokütleye dönüştürme yeteneğine sahip birçok bitki vardır (Janković & ark., 2023). Şeker kamışı, tatlı sorgum ve mısır gibi enerji bitkileri, özellikle biyokütle hammaddesi olarak yetiştirilebilen yüksek enerji içeriğine sahip bitkilerdir (Ben-Iwo, Manovic & Longhurst, 2016). Şeker kamışı ve tatlı sorgum, elektrik ve etanol üretme potansiyelleri nedeniyle öne çıkmaktadır (Cutz & ark., 2013). Sürdürülebilirliği sağlamak için, enerji mahsullerinin birinci sınıf tarım arazilerinin yaygın kullanımını gerektirmemesi ve biyokütleden enerji üretiminin düşük maliyetli olması gerekir (Waclawovsky & ark., 2010). Ekilebilir arazinin hektar başına yıllık üretimi, mısır, sorgum, şeker kamışı gibi C4 bitkileri için 400 GJ, tahıllar için 250 GJ ve yağlı tohumlar (biyodizel) için 70 GJ'ye eşdeğer değerlerdir (Janković & ark., 2023). Enerji bitkileri, elektrik/ısı veya biyoyakıt olarak enerji üretmek için üretilen türlerdir ve doğal fotosentetik yetenekleri ve yenilenebilir özellikleri nedeniyle, esas olarak enerji ve ulaşım sektörü tarafından sera gazı (GHG) oluşumunun azaltılmasına yardımcı olur (Abreu & ark., 2022). Enerji bitkileri, ulaşım, elektrik ve ısıtmada kullanılacak enerji için hammadde sağlayabilir. Kolza tohumu, şeker pancarı, tahıllar gibi bitkiler genellikle ulaşım için biyoyakıt olarak, dallı çimen, dev kamış, söğüt, kavak gibi bitkiler ise daha çok elektrik ve ısı enerjisi temini için tercih edilmektedir (Zegada-Lizarazu & Monti, 2011). Enerji bitkilerinin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Koçar & Cıvaş, 2013):

- Yüksek verim (hektar başına maksimum kuru madde üretimi)

- Üretim için düşük enerji girdisi
- Düşük maliyet
- Minimum kirletici içeriği
- Düşük nütrient gereksinimi
- Etanol ve biyodizel için hammadde
- Daha fazla enerji bağımsızlığı
- Çevresel olarak zarar görmüş arazilerin verimli kullanımı.

Uygulanabilir bir seçenek olması için, özel bir enerji mahsulünün aşağıda listelenen ve tartışılan birkaç genel gereksinimi karşılaması gerekir (Matsuoka & ark., 2014):

- Yararlı enerji biçimlerine kolayca ve güvenilir bir şekilde dönüştürülmesi gereken ham maddeye sahip olmak;
- Yüksek enerji yoğunluğu;
- Yıl boyunca kullanılabilirlik;
- İyi gelişmiş tarımsal uygulamalar;
- Uygun üretim ve teslimat maliyeti;
- Çok yıllık bitki (yenilenebilir);
- Stres koşullarında üretime uygun olması ve gıda üretimi için kullanılan arazi ile rekabet etmemesi;
- Hem enerji hem de sera gazı emisyonları açısından yüksek yaşam döngüsü dengesi.

Enerji mahsulleri, anaerobik çürütücüleri beslemek ve yenilenebilir enerji üretmek için kullanılabilir. Tarım sektöründe enerji bitkileri, enerji açısından zengin dışsal atıklara karşı değerli bir alternatif olabilir (Koçar & Civaş, 2013). Elektrik ve ısı oluşturmak için mahsullerin doğrudan yakılması veya gazlaştırılması yoluyla veya araçlarda kullanılmak üzere etanol gibi sıvı yakıtlara dönüştürülerek enerji üretilebilir. Ticari olarak kullanılan başlıca biyoyakıt türleri biyoetanol ve biyodizeldir. Biyoetanol çeşitli yöntemlerle üretilebilir, ancak esas olarak her biri, yakıt sınıfı etanol ve diğer yararlı yan ürünleri üretmek için biyokütle ürünlerinin biyokatalizörler tarafından fermentasyonunu içerir. Aspir, ayçiçeği, kolza ve soya fasulyesi gibi yağlı tohum bitkileri biyodizel üretimi için kullanılabilir (Kocar, 2008).

Enerji üretimi için en yaygın kullanılan enerji bitkilerine ise aşağıda detaylı bir şekilde değinilmiştir.

Enerji Bitkileri

Şeker Kamışı

Şeker kamışı (*Saccharum officinarum*), Poaceae familyasından fotosentez etkinliği ve verim potansiyeli yüksek bir C4 bitkisi olan çok yıllık bir otsu bitkidir (Koçar & Civaş, 2013). Şeker kamışı, öncelikle gövdede yüksek konsantrasyonlarda sükroz depolayabilmesi nedeniyle dünyanın tropikal, yarı tropikal ve subtropikal bölgelerinde yaklaşık 80 ülkede yetiştirilen büyük, çok yıllık bir çimdir (Tew & Cobill, 2008). Şeker kamışı çok yıllık bir mahsuldür, verimlidir ve her yıl yeniden ekilmesi gerekmez, bu da agronomik maliyetleri azaltır (Khan & ark., 2017). Şeker kamışı, tropik ve subtropik bölgelerdeki birçok ülkede önemli bir gıda ve biyoenerji kaynağı ve ekonominin önemli bir bileşenidir. Olgun şeker kamışı bitkisi üç ana bölümden oluşur: sap, yaprak ve kök sistemi (Waclawovsky & ark., 2010). Şeker kamışının endüstriyel sapsı, toplam biyokütlesinin % 80-85' ini oluşturmaktadır (Khan & ark., 2017). Şeker kamışının kuru maddesi çoğunlukla sükroz olmak üzere şekerlerden ve lif, selüloz, hemiselülozlar ve ligninden oluşur (Matsuoka & ark., 2014). Hem şeker hem de lignoselülozik biyokütlenin yüksek verimleri, fosil yakıt enerjisi için alternatif mükemmel bir kaynak olarak kabul edilir (Huang & ark., 2020). Şeker kamışı, güneş ışığından gelen enerjiyi yakıt kaynağı olarak kullanılabilen kimyasal enerjiye dönüştürmede dünyanın en verimli mahsulleri arasındadır (Tew & Cobill, 2008).

Dünya şeker üretiminin üçte ikisi şeker kamışından karşılanmaktadır (Koçar & Civaş, 2013). Dünyadaki sükroz şeklindeki şeker arzının yaklaşık % 70' i şeker kamışından kaynaklanmaktadır (Tew & Cobill, 2008). Toplam üretime göre en büyük bitkisel ürün olan şeker kamışı, şeker ihtiyacını karşılamak için tüm dünyada yaklaşık 100 ülkede yetiştirilmektedir. Dünyanın en büyük kamış üreticisi, dünya toplam üretiminin % 33' ünü oluşturan Brezilya'dır, onu Hindistan ve ardından Çin takip

etmektedir. Şeker kamışı, şeker vermesinin yanı sıra, bir biyoenerji mahsulünün ön koşulu olan temel özelliklerin çoğunluğuna sahip olduğu için en uygun biyoyakıt kaynaklarından biridir. Şeker kamışı, biyoyakıt üretimi için en yüksek çıktı/girdi oranını kaydettiği için dünyanın en verimli fotosentezleyicileri ve sükroz üreticileri arasındadır. Şeker kamışı geçmişte ağırlıklı olarak şeker üretimi için kullanılmıştır, ancak çeşitli endüstriyel uygulamalarda uygulama bulabilecek çeşitli başka yan ürünler de vermektedir (Khan & ark., 2017). Ezilen ve suyu için çıkarılan şeker kamışı sapları daha sonra şeker kamışı fabrikalarında buhar ve elektrik enerjisi üretimi için yakılır (Waclawovsky & ark., 2010). Küspe adı verilen şeker ekstraksiyonundan sonra kalan artıklar, şeker fabrikaları için bir buhar kaynağı olarak büyük önem kazanmıştır. Şeker kamışı biyoyakıtları hava kirliliğini, egzoz borusu emisyonlarını ve sera gazlarını azaltmaya yardımcı olabilir (Khan & ark., 2017). Şeker kamışından etanol üretimi, sera gazı emisyonlarında önemli düşüşler sağladığı için şu anda fosil yakıtlara göre en cazip alternatiftir (Ben-Iwo, Manovic & Longhurst, 2016).

Şeker Pancarı

Chenopodiaceae familyasının bir üyesi olan şeker pancarı (*Beta vulgaris L.*), kökü yüksek konsantrasyonda sükroz içeren bir bitkidir (Koçar & Civaş, 2013). Şeker pancarı, ılıman iklimlerde, öncelikle insan beslenmesinde bir tatlandırıcı olarak disakkarit sükroz üretimi için yetiştirilen bir kök bitkisidir. Şeker pancarı kökü su (~%75), çözünür katı maddeler (~%20; sükroz olarak ~%75) ve çözünmeyen katı maddelerden (~%5) oluşur. Şeker pancarının insan beslenmesinde bir tatlandırıcı kaynağı olarak birincil kullanımına ek olarak, şeker pancarının gerçek ve potansiyel kullanımları oldukça çeşitlidir. Küspe (sakaroz ekstraksiyonundan sonra çözünmeyen kök dokusu) ve melas (sakaroz rafine edildikten sonra kalan sıvı) gibi yan ürünler, hayvan yemi veya özel kimyasalların üretimi için hammadde olarak kullanılır (McGrath & Townsend, 2015). Şeker pancarı, Antarktika hariç her kıtada yetiştirilir, ancak en iyi verimi Kuzey Avrupa ve Kuzey Amerika'da bulunan başlıca üretim alanları ile ılıman iklimlerde verir. Toplam şeker pancarı üretimi dünya

apında nispeten istikrarlıdır. Kuru iklimlerde sulama gereklidir. Daha sıcak iklimlerde, şeker pancarı, özellikle Kuzey Afrika'da ve Kaliforniya Imperial Valley' de (ABD) genellikle bir kış malsul olarak yetiştirilir. (McGrathand & Townsend, 2015).

şeker pancarı, küresel şeker talebinin yaklaşık % 20' sini karşılamaktadır (Finkenstadt, 2014). şeker pancarı, yumrusu yüksek konsantrasyonda sükroz içeren bir bitkidir. şeker üretimi için ticari olarak yetiştirilir. 2009 yılında Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Rusya ve Türkiye dünyanın en büyük beş şeker pancarı reticisiydi. Dünya şeker üretiminin üçte biri şeker pancarından sağlanmaktadır. şeker pancarının avantajları, daha düşük bir malsul üretim döngüsü, daha yüksek verim ve çok çeşitli iklim değişikliklerine yüksek tolerans, düşük su ve gübre gereksinimidir. şeker kamışı ile karşılaştırıldığında, şeker pancarı % 35-40 daha az su ve gübre gerektirir. şeker pancarı (1 hektar), % 14–21 şeker içeren 30–60 ton kök yumru üretebilir. (Kocar & Civaş, 2013).

şeker pancarı, birçok mikroorganizma tarafından kolayca fermente edilen bol miktarda skroza sahiptir. Hektar başına ekstrakte edilen sakaroz miktarı  faktöre bağlıdır; hasat edilen pancarların ağırlığı, bu pancarlardaki sakaroz yüzdesi ve ekstrakte edilebilen sakaroz miktarı. şeker pancarının kökü yaş ağırlığının % 20' si kadar sakkaroz içerebilir. (Panella, 2010). Enerji retimi amaçlı pancarlar, şeker pancarı yetiştiricilerinin sakarozdan üretilen etanolün sıvı bir ulaşım yakıtı olarak kullanma potansiyelini fark ettikleri 1970' lerdeki ilk ABD petrol kıtlığı sırasında tasarlanmıştır (McGrathand & Townsend, 2015).

Sorgum

Sorgumun alternatif bir biyoenerji hammaddesi olarak kullanımına olan ilgi 1970' lerden itibaren artmıştır (Ben-Iwo, Manovic & Longhurst, 2016). Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench), pirinç, buğday ve mısır ile aynı familyaya (Poaceae) ait tek yıllık veya kısa dönemli çok yıllık bir bitkidir (Ordonio & ark., 2016). Tatlı sorgum, yüksek fotosentetik verimlilik ile karakterize edilen yıllık bir C4 bitkisidir. Biyokütle verimi yüksek ve karbonhidrat bakımından zengin bir üründür (Koçar & Civaş, 2013).

Tatlı sorgum yaklaşık eşit miktarlarda çözünebilir (glikoz ve sukroz) ve çözünemeyen karbonhidratlar (selüloz ve hemiselüloz) içeren yüksek biyokütle ve şekere sahip bir üründür (Cutz & cutz., 2013). Sorgum; insan gıdası, hayvan yemi, biyo yakıt ve endüstriyel kullanım gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir (Stamenković & ark., 2020). Tatlı sorgum, nem ve şeker açısından zengin bir gövdeye sahiptir. Gövdelerin genel verimi yaklaşık 60 ton/ha' dır ve tohumların verimi 2250–6000 kg/ha' dır. Saplar çoğunlukla sukroz içerir. Kuru maddenin % 55' i sukroz, % 3,2' si glikozdur. Ayrıca selüloz (% 12,4) ve hemiselüloz da (% 10,2) içerir. Tatlı sorgum biyokütlesi kolayca fermente olabilen şekerler açısından zengindir ve bu nedenle fermentatif hidrojen üretimi için mükemmel bir ham madde olarak kabul edilebilir. Genel olarak, şu anda enerji ve endüstri için potansiyel hammaddeler olarak araştırılan birçok "yeni mahsul" arasında tatlı sorgum en umut verici olanı gibi görünmektedir. Bugüne kadar etanol ve metan, tatlı sorgumdan üretilen en iyi bilinen mikrobiyal ürünler arasındadır. (Koçar & Civaş, 2013). Bu mahsul, çok çeşitli çevresel koşullar altında büyüme yeteneğine sahiptir ve ayrıca kuraklığa, sele, su tutmasına, toprak tuzluluğuna, alkaliniteye ve asitlik toksisitesine karşı daha iyi toleransa sahiptir (Cutz & ark., 2013). Sorgumun toprak nitrojenini alma ve kurak koşullarda büyüme yeteneği, onu nitrojen sızıntısının azaltılması gereken alanlarda ideal bir seçim haline getirir (Agostini & ark., 2015). Sorgum yüksek miktarda biyokütle üretimi ve kuraklığa karşı dayanıklılık gibi avantajlara sahiptir (Bergtold & ark., 2017). Sorgum, birden fazla ortamda yetiştirilebilen ve diğer tahıl mahsullerine göre kuraklığa nispeten daha dayanıklı olan dünyadaki en önemli beşinci tahıl mahsulüdür. Ağırlıklı olarak tropik bölgelerden ılıman bölgelere kadar çok çeşitli ortamlarda yağmurla beslenen bir ürün olarak yetiştirilir (Stamenković & ark., 2020). Bugün, sorgum dünya çapında yaygın bir şekilde ekilmektedir ve üretim ve ekim alanları bakımından başlıca tahıl ürünleri arasında beşinci sırada yer almaktadır (Ordonio & ark., 2016). 2017 yılında dünyanın tahıl sorgum üretimi 40,7 milyon hektarda yaklaşık 57,6 milyon ton olmuştur (Stamenković & ark.,

2020). Tıpkı pirinç ve mısır gibi, sorgum da genellikle yaklaşık dört ay veya daha kısa sürede olgunlaşır. Sorgum ekstrem bir C4 bitkisi olduğundan, suyu çok daha verimli kullanır ve bu da onu, kuraklığın tekrar eden bir sorun olduğu yarı kurak veya kurak ortamlara oldukça uyumlu hale getirir. Bazı sorgum çeşitleri, tahıllarda nişasta ve yüksek miktarda selülozik biyokütle üretirken, şeker biriktirme yeteneğine de sahiptir. Bu, sorgumun yalnızca gıda ve hayvan yemi sağlamada değil, aynı zamanda biyoetanol şeklinde yeşil yakıt alternatifi sağlamada da muazzam bir potansiyele sahip olduğu anlamına gelir (Ordonio & ark., 2016). Mısır veya mısır gibi diğer bitkilerle karşılaştırıldığında marjinal topraklarda nispeten daha az girdi (besin ve su) ile büyük miktarda biyokütle üretebilen biyoenerji üretimi için özel olarak uygun olan belirli sorgum türleri veya genotipleri biyoyakıt üretimi için uygun bir mahsuldür (Stamenković & ark., 2020). Şeker kamışı gibi tatlı sorgumunda yan ürünleri vardır. Ekstraksiyon işleminden elde edilen lifli artıklar, elektrik, proses ısısı ve güç üretmek için kamış küspesi ile aynı şekilde kullanılabilir (Cutz & ark., 2013). Sorgum çeşitleri, enerji dönüşümü için verimli biyokütle hammaddeleri olarak kabul edilir çünkü çeşitler, bitkinin boş gövdesi içinde kolayca bulunabilen fermente edilebilir şekerlere sahiptir (Ben-Iwo, Manovic & Longhurst, 2016). Sorgum, biyoyakıt üretimi için benzersiz bir enerji mahsulüdür çünkü onun tüm kısımları (nişasta ve şekerden etanol, selülozik/lignoselülozik kısımdan biyoyağ, biyokömür, biyogaz ve biyohidrojen ve yağdan biyodizel gibi) çeşitli üretim yolları ile sürdürülebilir ham madde olarak kullanılabilir (Stamenković & ark., 2020).

Enerji ve endüstri için araştırılan birçok ürün arasında tatlı sorgum, özellikle gelişmekte olan ülkelerde biyoetanol üretimi için en umut verici adaylardan biridir. Tatlı sorgum, aşağıdaki özelliklere sahip bir C4 bitkisidir (Koçar & Civaş, 2013).

- Büyüme döngüsü kısadır (yaklaşık dört ay), bu da çift mahsulü kolaylaştırır.
- Tohumlardan kolaylıkla yetiştirilebilir.
- Üretimi tamamen mekanize edilebilir.

- Sapında şeker ve tahılda nişasta üretebilir.
- Yüksek su ve besin kullanım etkinliğine sahiptir.
- Tatlı sorgumdan üretilen küspe, yem olarak kullanıldığında yüksek biyolojik özelliklere sahiptir.
- Farklı ortamlara geniş bir adaptasyon kabiliyetine sahiptir.

Kristalleştirme işleminden elde edilen melas, daha sonra özel olarak tasarlanmış fenerlerde ve sobalarda kullanılabilen etanol üretmek için de kullanılabilir. Şeker bitkilerinden tatlı sorgum olarak üretilen etanol saf halde veya benzinle karıştırılarak, kıvılcım ateşlemeli motorlarda da kullanılabilir (Cutz & ark., 2013).

Sorgum bazı ülkelerde, özellikle de Asya ve Afrika' da insanlar için besin olarak kullanılmaktadır. Sorgum tanesi glütensizdir ve çeşitli antioksidanlar ve mikro besinlerin varlığı nedeniyle yüksek besin değerine sahiptir (Stamenković & ark., 2020).

Mısır

Mısır (*Zea mays L.*), dünyanın önde gelen tahıl ürünlerinden biri olup, önem bakımından üçüncü sırada yer almaktadır. Mısır, içeriğindeki nişasta, proteinler, karotenoidler, vitaminler nedeniyle dünya çapında hayvan yemi olarak ve insan beslenmesinde temel diyetin bir parçası olarak üretilmektedir. (Karyoti & ark., 2021). Başlıca C4 mahsullerinden biridir. Mısır, dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmektedir ve her yıl diğer tahıllardan daha fazla mısır üretilmektedir (Koçar & Civaş, 2013). Mısır, özellikle sulama ve azotlu gübrelemede yüksek girdi gereksinimi olan bir üründür. Kullanılan gübrelerin düşük N tepki etkinliği (%33 ila 50 arasında rapor edilmiştir) ve sulamaya olan ihtiyacın fazla olması, Akdeniz bölgesi gibi yarı kurak ortamlarda üretim maliyetlerini artırmaktadır. Bu nedenle, tarım girdilerinde ve maliyet/fayda oranında önemli bir azalma meydana gelmedikçe, olumsuz enerji bütçesi nedeniyle mısırın Akdeniz bölgesinde enerji ürünü olarak tanıtılması oldukça zordur (Karyoti & ark., 2021). Mısır, etanol yakıtı üretimi için hammadde olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Mısır üretiminde Amerika Birleşik Devletleri dünya hasadının % 40'ını üretmekte; diğer en çok üretim yapan ülkeler arasında Çin, Brezilya,

Meksika, Endonezya, Hindistan, Fransa ve Arjantin bulunmaktadır. Biyoyakıt potansiyeli olan diğer mahsullerle karşılaştırıldığında mısır, bioetanol üretimi için hem nişasta (tohum) hem de selülozik (koçan) malzeme sağlayabilir. Tarımsal biyokütlenin büyük bir bölümünü mısır koçanı (yaprakları ve sapları) oluşturmaktadır (Kocar & Cıvaş, 2013).

Mısır sıvı biyoyakıt üretimi için önemli bir hammaddedir. Küresel etanol üretiminin yaklaşık % 8,4'ünü oluşturur (Ben-Iwo, Manovic & Longhurst). ABD'de, etanol üretimi için ana hammaddedir. Mısırdan elde edilen etanolün sera gazı emisyonlarını % 40 oranında azalttığı tahmin edilmektedir. Mısır, çoğunlukla ılıman iklimlerde yetiştirilmesine rağmen yaygın olarak ekilebilir. Mısır, birim arazi başına yüksek verimliliğe sahiptir. Doğru ortamlarda mısırın tarımsal üretimi, diğer tahıllara göre hektar başına yaklaşık 7 ila 11 ton daha yüksektir; etanol verimi 769.89 galon/ha mısır civarındadır (Ben-Iwo, Manovic, Longhurst., 2016). Mısırdan yakıt etanol üretiminde sadece çekirdeklerden ziyade bitkinin tamamından yararlanılır (Kocar & Cıvaş, 2013).

Mısır, biyogaz üretimi için başlıca üründür. Mısır, Orta Avrupa'da yetiştirilen tarla bitkileri arasında en yüksek verim potansiyeline sahip olarak kabul edilir (Koçar & Cıvaş, 2013). Mısır, yüksek biyokütle üretkenliği ve metan potansiyeli, yerleşik bir yetiştirme tekniği ve uygun genetik materyallerin geniş mevcudiyeti nedeniyle özel bir enerji ürünü olarak önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, tüm tarımsal sistemlerde olduğu gibi mısır ekiminin de su kullanımı ve temini üzerinde etkileri vardır ve su kaynakları üzerindeki mevcut baskıları hem nitelik hem de nicelik açısından artırma potansiyeline sahiptir. İklim değişikliği nedeniyle tatlı su ile ilgili risklerde (su kıtlığı, kuraklık, azalan su kalitesi) beklenen artış göz önüne alındığında, sulama suyunun mevcudiyetinin mısır gibi daha yüksek su ihtiyacı olan ürünler için yeterli olmayacağı alanlarda diğer ürünler daha uygun bir seçenek olabilir. (Agostini & ark., 2015).

Uygulamada mısır, yüksek biyokütle verimi, metana iyi dönüşüm oranı ve silaj olarak kolay depolanması nedeniyle şu anda

biyometanasyon için en çok kullanılan enerji ürünüdür. Mısır ekimi, toprak erozyonu, toprağın sıkışması, düşük biyolojik çeşitlilik, yüzey ve yeraltı sularına besin sızıntıları ve toprak ve suyun pestisit kirliliği gibi çevresel sorunlarla ilişkilidir (Mayer & ark., 2014).

Kolza

Kolza tohumu (*Brassica napus*) önemli bir bitkisel yağ kaynağıdır (Wongsirichot, Gonzalez-Miquel & Winterburn, 2022). Kolza tohumu, esas olarak Fransa'nın Kuzeydoğu bölgelerinde yetiştirilmektedir (Flenet, Paupart & Wagner 2007). Kolza, ekonomik değerinin yanı sıra çok çeşitli iklim koşullarında ve farklı toprak türlerinde yetişebilmesi nedeniyle dünya çapında yetiştirilmektedir (Al-Suhaibani & ark., 2021). Avrupa gibi ılıman iklim bölgelerinde kolza, biyodizel için önemli bir hammadde kaynağıdır ve biyodizel üretiminin % 50 ila 70' ini oluşturur (Fu & ark., 2016). Kolza ekiminde, bu yüzyılın başında yıllık ortalama % 4,9' luk önemli bir artış meydana gelmiştir. Gıda endüstrisinde çok fazla kolza yağı kullanılırken, bu artışta özellikle AB'de biyodizel üretimi için kolza yağına olan talep büyük ölçüde etkili olmuştur. Mevcut yıllık yaklaşık 70-71 milyon metrik ton tüketimi ile kolza tohumu, dünya çapında önemli bir yağ mahsulü olmaya devam etmektedir (Wongsirichot, Gonzalez-Miquel & Winterburn, 2022). Kolza tohumu, Avrupa'da biyoyakıt, gıda ve yem endüstrisi için en çok yetiştirilen enerji ürünüdür. Kolza tohumunun yüksek yağ verimi, yüksek selülozik içeriğine atfedilir ve sonuç olarak, kolza şu anda biyodizel üretimi için ilk seçenek olsa da, şu anda sıvı biyoyakıt olarak ön işlem görmeden kullanılabilen tek seçenek olabilir. (Koçar & Civaş, 2013; Skoulou & ark., 2011). Kolza tohumu yağı dünya petrol pazarının %12'sini kaplarken, Avrupa'da üretim %35'e, Çin'de %26'ya, Hindistan'da %14'e ve Kanada'da %8'e ulaşmaktadır. Kolza tohumu, kuzey-orta Avrupa bölgelerinde ve bazı güney bölgelerinde yetiştirilmektedir. Kolza tohumunun toplam ekili alanı hala küçük olsa da, uyum yeteneği ve tatmin edici verimi, onu çiftçiler için çekici bir alternatif ekim ve biyoyakıt üretimi için çok iyi bir hammadde haline getirmektedir (Skoulou & ark., 2011). Diğer yağ bitkileri ile karşılaştırıldığında, kolza tohumunun sera gazı

emisyonlarını azaltma konusunda oldukça yetenekli olduğu ispatlanmıştır. Kolza tohumu biyoçeşitliliği iyileştirme, erozyonu azaltma ve toprakta organik maddeyi koruma kapasitesi nedeniyle çevresel olarak daha sürdürülebilir kabul edilmektedir (Palmieri & ark., 2014).

Kolza tohumu, kuzey-orta Avrupa bölgelerinde ve diğer ekimlere alternatif olabileceği bazı güney bölgelerinde yetiştirilmektedir (Skoulou & ark., 2011). Almanya' nın ürettiği biyodizelin neredeyse tamamını kolza tohumundan ürettiği bilinmektedir (Koçar & Civaş, 2013). Kolza tohumunun toplam ekili alanı hala küçük olsa da, uyum yeteneği ve tatmin edici verimi, onu çiftçiler için çekici bir alternatif ve biyoyakıt üretimi için çok iyi bir hammadde haline getirmiştir. Kolza tohumlarından (%30-50 ww) yağ ekstraksiyonundan sonra kolza küspesi üretilir (yan ürün) ve yüksek protein içeriği (%10-45 ww) nedeniyle hayvan yemi olarak kullanılır (Skolou & ark., 2011). Kolza tohumu yağları başlangıçta kandillerde aydınlatma, dini törenler, tıbbi amaçlar, yemek pişirme ve kızartma ve yemeklere çeşni vermek için kullanılmıştır (McVetty & Duncan, 2015).

Kolza tohumu, birkaç nedenden dolayı biyodizel üretimi için ideal bir üründür. İlk olarak, kolza tohumu yaklaşık %40 yağ içerir ve birim alan başına yüksek verimde yağ üretebilir. Yenilebilir kolza tohumundan üretilen biyodizel, diğer hammaddelerden elde edilen biyodizelden daha düşük bir sıcaklıkta jel haline gelir ve kolza biyodizelini daha soğuk bölgeler için daha uygun bir yakıt haline getirir. 2008'de Avrupa'daki biyodizelin % 66'sı kolza tohumundan elde edilmiştir. 2010 yılında, biyodizel üretimi için iç kolza yağı tüketimi, AB'deki toplam kolza üretiminin % 68,8' ini oluşturmaktadır. Kolza tohumunun ekim alanının artmasının nedeni biyoyakıt üretimidir (Fu & ark., 2016).

Kolza tohumunun endüstriyel kullanımı için bazı teknik zorluklar da bulunmaktadır. İlk olarak, endüstriyel kolza tohumları kanoladan daha uzun zincirli yağ asitleri içerir, bu da onu ASTM D6751 spesifikasyonunun izin verdiğiinden daha yüksek bir damıtma sıcaklığında biraz daha viskoz hale getirir. Bu spesifikasyonu

karşılamak için kolza tohumu biyodizeli diğer yakıtlarla (kanola veya soya biyodizel gibi) karıştırılabilir. İkinci olarak, Polonya ve Hollanda'daki kurum içi çalışmalara göre kolza tohumu biyodizel üretiminin verimliliği düşük olabilir. Üretim verimliliğini artırmak için gübre girdisi ve özellikle azotlu gübre girdisi azaltılmalı; ayrıca yan ve atık ürünlerin kullanımı optimize edilmelidir (Fu & ark., 2016).

Soya Fasulyesi

Soya fasulyesi, Doğu Asya'ya özgü bir baklagil türüdür (Remadani & ark., 2011). Soya fasulyesi (*Cycline Max*) ekimi ilk kez 80' li yılların başında Yunanistan'da denenmiştir (Skolou & ark., 2011). Soya fasulyesi, dünyadaki en önemli protein ve yağ kaynaklarından biridir (Koçar & Civaş, 2013). Ortalama % 40 protein içeriği ve % 20 yağ içeriği ile soya fasulyesi, tüm gıda mahsulleri arasında en yüksek protein içeriğine sahiptir ve baklagiller arasında yağ içeriği bakımından yer fıstığından sonra ikinci sıradadır (Patzek, 2008). Soya fasulyesinin ana bileşenleri proteinler (% 36), karbonhidratlar (% 30), katı/sıvı yağ (% 20) ve sudur (% 9) (Kong & ark., 2019). Soya fasulyesi, yüksek oranda besin içeriğine sahiptir, özellikle bunun yüzde 34' ü proteinden oluşur ve hayvansal proteinden nispeten ucuz bir bitkisel protein kaynağı olarak yüksek talep görmektedir. Bir bitkisel protein kaynağı olarak, soya fasulyesi genellikle işlenmiş ürünler, yani tofu, tempeh, soya sosu, tauco, soya sütü ve çeşitli atıştırmalıklar şeklinde tüketilir. Soya fasulyesi sadece bitkisel protein kaynağı olarak değil, aynı zamanda koroner kalp hastalığı ve hipertansiyon gibi dejeneratif hastalıkları önlemek için fonksiyonel bir gıda olarak da kullanılmaktadır. Bununla da kalmayıp, bu kez soya fasulyesi alternatif bir enerji kaynağı (biyoyakıt) olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. (Adie & Krisnawati, 2014). Soya fasulyesi yağı, uluslararası olarak üretilen bitkisel yağların % 50'sine ulaşırken, soya fasulyesi küspesi yaygın olarak yem olarak kullanılmaktadır. Soya fasulyesinin protein içeriği oldukça yüksektir (%38 ww). Yağ içeriği yaklaşık %18–22 ww arasındadır (Skolou & ark., 2011). Başlıca üreticileri ABD (%33), Brezilya (%27), Arjantin (%21) ve

Çin (%7) olmak üzere birçok ülkede yaygın olarak yetiştirilmektedir (Koçar & Civaş, 2013; Skolou & ark., 2011). Protein, bazı gıda uygulamalarında temel olarak yem olarak kullanılırken, yağ daha geniş bir şekilde gıda, yem ve bazı endüstriyel uygulamalara dahil edilir. Soya fasulyesi, biyodizel üretimi için kullanılan ana hammaddelerden biridir. Brezilya'da soya fasulyesi, üretilen tüm biyodizelin %80'inden fazlasından sorumludur. Arjantin'de %100, Amerika Birleşik Devletleri'nde yaklaşık %74 ve Avrupa Birliği'nde sadece %16'dır. Bu nedenle soya fasulyesi, biyodizel üretimi için umut verici bir kaynaktır. Soya yağı ve proteinine olan talep arttıkça, genetik ıslah yoluyla soya fasulyesi kalitesinin ve üretiminin iyileştirilmesi önemli bir konu haline gelmiştir. (Koçar & Civaş, 2013).

Soya fasulyesi için optimum sıcaklık aralığı 20 °C - 30 °C iken 20 °C' nin altındaki ve 40 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda verim önemli ölçüde etkilenir. Soya fasulyesi bitkileri, iyi bir organik içeriğe sahip nemli alüvyal topraklarda optimum büyüme ile çok çeşitli topraklarda büyüyebilir. (Patzek, 2008). Ekili soya fasulyesi havadaki azotu yakalar ve onu gübreye dönüştürür (Kong & ark., 2019), bu şekilde düşük azot gübrelemesi gerektirir.

Aspir

Aspir, Asteraceae veya Compositae familyasına ait olan ve güney Asya kökenli yağlı tohumlu bir bitkidir (Hashemi, Mirmohamadsadeghi & Karimi, 2020) ve tohumları gıdaları tatlandırmak ve renklendirmek için kullanılabilir. Aspir, son zamanlarda biyoenerji üretimi için potansiyel bir kaynak olarak kullanılmaya başlanmıştır. Biyolojik ve abiyotik streslere karşı yüksek toleransı ve ayrıca marjinal arazilerde büyümeye uyum sağlaması nedeniyle biyoenerji üretimi için uygun bir üründür. Ayrıca sulama ve gübre açısından düşük girdi gerektirir. Sürdürülebilirlik ve yakıt özellikleri nedeniyle aspir, biyodizel yakıt endüstrisi için önemli ve ekonomik bir hammadde haline gelebilir. Aspir tohumları, biyodizel üretiminde kullanılan diğer yem stoklarına göre daha yüksek (% 40) yağ içeriğine sahiptir. Bu nedenle aspir, biyoenerji için uygun bir hammadde seçeneği olabilir.

(Al-Suhaibani & ark., 2021). Aspir, kuraklığa, sellere ve kuvvetli rüzgarlara karşı yüksek bir toleransa sahiptir. Bu nedenle, Kuzey Amerika ve Asya dahil olmak üzere dünyanın farklı bölgelerinde yetiştirilebilir (Hashemi, Mirmohamadsadeghi & Karimi 2020). Aspir düşük sıcaklığa da toleranslıdır ve böyle bir ortamda bir sonbahar/kış döngüsü ile büyüyebilir. Bir kış döngüsü ile aspir yetiştirmenin fizibilitesi, bu türde çok hassas olan çiçeklenme aşamasında olası kuraklık stresini önler veya en azından önemli ölçüde azaltır. Ayrıca aspir, taç yapraklarından doğal kırmızı (carthamin) ve sarı boyalar ve ayrıca tohumlarından yağ ($\approx 35-40\%$) ve protein ($\approx 20\%$) elde edebilen çok amaçlı bir mahsuldür (Zanetti & ark., 2022). Çok dallı, otsu, devedikeni benzeri yıllık bir bitkidir ve genellikle yaprakları üzerinde çok sayıda uzun keskin diken bulunur. Bitkiler 30-150 cm boyundadır ve genellikle Temmuz ayında parlak sarı, turuncu veya kırmızı çiçekler açar. Üretim artışı söz konusu olduğunda kurak topraklar için en uygun aspir çeşidi görülmektedir (Koçar & Civaş, 2013). Sarı pigmentler genellikle çeşitli kozmetiklerde (yani parfüm, şampuan, saç kremi ve yüz kremi) iyi bir renklendirici madde olarak kullanılırken, kırmızı pigmentler genellikle gıda ürünlerinde uygulanır. Ayrıca aspir yaprakları tıbbi uygulamalara sahiptir ve diyabet, yüksek tansiyon ve kadın hastalıkları gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Hashemi, Mirmohamadsadeghi & Karimi, 2020). Aspir tohumu yağı biyodizel üretimi için sodyum hidroksitli (NaOH) metil alkol ortamında transesterifikasyon reaksiyonu ile kimyasal olarak işlenir. Üretilen biyodizel motorine hacimsel olarak %5 (B5), %20 (B20) ve %50 (B50) oranlarında harmanlanır. (Koçar & Civaş).

2017 yılında, yıllık yaklaşık 225.000 ton aspir tohumu üretimi ile dünyada ilk sırayı Kazakistan alırken, Rusya (101.585 ton) ikinci ve ABD (81.600 ton) üçüncü sırayı almıştır. İran ayrıca yıllık 5.850 ton aspir tohumu üretimi ile dünyanın önde gelen aspir tohumu üreticilerinden biridir. FAO istatistiklerine göre, ortalama küresel aspir tohumu verimi yaklaşık $821 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 'dir. Hasat edilen bir kg aspir tohumu için yaklaşık 4 kg aspir samanı oluşmaktadır. Yüksek mahsul verimi ve zorlu koşullara yüksek dayanıklılık

yeteneği, aspir bitkisini biyoyakıt üretimi için yüksek potansiyelli bir hammadde haline getirmektedir. (Hashemi, Mirmohamadsadeghi & Karimi, 2020).

Aspir, buğdayinkine benzer nutrient gereksinimlerine sahiptir, ancak kök sistemi sayesinde nütrient katmanları daha derinleşebilir. Tüm nütrientler mahsul için önemlidir, ancak araştırmalar, azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) ile yapılan temel gübrelemenin dünya çapında aspir yetiştiriciliğinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Aspir verimi ve yağ bileşenleri genotip, ekoloji, morfoloji, fizyoloji ve gübreleme gibi birçok faktörden etkilenebilmektedir. Ekim zamanının aspir yağı özellikleri üzerinde büyük etkisi vardır. (Sampaio & ark., 2016).

Ay Çiçeği

Ayçiçeği (*Helianthus annuus*), 70'in üzerinde türü bulunan *Helianthus* cinsi türlerden biridir (Ebrahimian & ark., 2022). Ayçiçeği, ağırlıklı olarak insan tüketimi için kullanılan yağ üretimi için yetiştirilen yağlı tohum bitkilerinin başında gelmektedir (Zabaniotou, Kantarelis, & Theodoropoulos, 2008). Ayçiçeği, en önemli yağ bitkilerinden biri olup, hızlı gelişen, tüylü ve kalın gövdeli, geniş yapraklı, tek yıllık otsu bir bitkidir. Dünyanın birçok ülkesinde ekonomik düzeyde ayçiçeği tarımı yapılmaktadır (Unakıtan & Aydın, 2018). Ayçiçeği, farklı iklim ve toprak koşullarında yetiştirilen başarılı bir bitkidir; bu nedenle ekimi dünya çapında artmıştır (Ebrahimian & ark, 2022). Ayçiçeği sınırlı su mevcudiyeti olan herhangi bir alanda yetiştirilebilir. Ayçiçeği, Arjantin'den Kanada'ya ve Orta Afrika'dan Sovyetler Birliği'ne kadar dünyanın birçok yarı kurak bölgesinde yetiştirilmektedir. (Zabaniotou, Kantarelis, & Theodoropoulos 2008). Ayçiçeği, Orta Makedonya ve Yunanistan' da Trakya'nın tipik bir ürünüdür. Başlıca ayçiçeği üreticileri Rusya (%20), Avrupa (%19), Ukrayna (%15) ve Arjantin'dir (%13). Ayçiçeği, yüksek konsantrasyonda oleik asit ile yüksek yağ içeriğine sahiptir (Skolou & ark., 2011). Ayçiçeği yetiştiriciliği sırasında çiftçiler, düşük verimli topraklardan faydalanabilir ve sınırlı su mevcudiyeti ile yetiştirilebilir. Şimdiye kadar Yunanistan dahil 23 Avrupa ülkesinde ayçiçeği yetiştirilmiştir.

Hasat Ağustos ayı sonlarında başlar ve 15 günlük bir süre içinde tamamlanır (Skolou & ark., 2011). Özellikle Güney Avrupa ülkelerinde biyodizel üretimi için önemli bir ürün olarak da değerlendirilebilir (Zabaniotou, Kantarelis, & Theodoropoulos, 2008).

Çiçeğin gövdesi 3 m yüksekliğe kadar büyüyebilir ve çiçek başının çapı 30 cm'ye ulaşır (Zabaniotou, Kantarelis, & Theodoropoulos 2008). Ayçiçeği, sahip olduğu derin kök sistemi sayesinde toprak nemi ve toprak azotu gibi doğal kaynakları verimli bir şekilde kullanmakta ve bu nedenle biyoenerji üretim sistemleri için değerli bir mahsulü temsil etmektedir (Barontini & ark., 2015). Hem düşük hem de yüksek sıcaklıklara toleranslıdır, ancak düşük sıcaklıklara daha toleranslıdır. Ayçiçeği, kumdan kile kadar çok çeşitli toprak türlerinde yetiştirilebilir. (Zabaniotou, Kantarelis, & Theodoropoulos 2008).

Kenevir

Kenevir veya endüstriyel kenevir (*Cannabis sativa L.*), sak lifi veya yenilebilir tohumları için yetiştirilen Cannabaceae familyasından bir bitkidir (Chaowana & ark., 2024). Kenevir, kısa gün bitkisidir (Burczyk & ark., 2008). Kenevir dünyanın ılıman ve tropikal bölgelerinde yetişen bir bitkidir. Kenevir, tekstil sektörü, inşaat, gıda sektörü ve kozmetik sektörü için uygun bir hammaddedir. Ayrıca, işlendikten sonra artık bir biyokütle, biyokömür, mükemmel sorbentler ve yoğun bir şekilde tarım yapılan bir arazinin kalitesini iyileştirmek için kullanılan bir toprak katkı maddesi dahil olmak üzere hem katı hem de sıvı biyoyakıtların üretimi için kullanılabilir. Ürünün sürdürülebilirliğine ve başarısına katkı sağlayan temel faktör, bitkinin biyokömür üretimi için kullanılabilecek artıkları da dahil olmak üzere bitkinin çoğu bölümünün çeşitli insan ihtiyaçları ve faaliyetleri için kullanılabilmesidir (Vávrová & ark., 2022). Kenevir, dünyadaki en hızlı büyüyen bitkilerden biridir. En güçlü doğal liflerden birine sahiptir. Kenevir iki ana lif türünden oluşur: sak, uzun lifler ve hurds, kısa lifler. Kenevir lifleri, çok sayıda endüstriyel uygulama için çeşitli ham maddeler sağlayabilir (Chaowana & ark., 2024). Gövde,

ürün yoğunluğuna bağlı olarak az ya da çok dallıdır. Yapraklar palmat tiptedir ve her yaprağın kenarları tırtıklı 7 ila 11 yaprakçık vardır; güçlü kazık kök, toprağın derinliklerine nüfuz eder (Ingrao & ark., 2015). Kenevirin özellikleri onu, yağlar, gıda ürünleri, inşaat malzemeleri, kağıt ve biyoyakıtlar dahil olmak üzere toplum için faydalı ürünlerin üretimi için mükemmel bir hammadde haline getirir (Teirumnieka & ark., 2023). Kenevir, dünyanın en eski mahsullerinden biridir ve geleneksel olarak uzun sak lifi için yetiştirilir, ancak kısa lif için de yetiştirilebilir. Kenevir sak lifi, yüzyıllar boyunca deniz halatları ve yelkenlerde kullanılan başlıca lif olmuştur. Kenevir, ip ve dokuma malzemelerinin ham maddesi olarak önemini yitirmiş, yerini pamuk ve sentetik liflere bırakmıştır. Kenevir biyokütlesi iyi yanma özelliklerine sahiptir ve ısı veya elektrik üretmek için kullanılabilir. (Finnan & Styles, 2013). Kenevirdeki % 60 ila % 70 arasında değişen selüloz içeriği, biyolojik olarak parçalanabilen plastik üretimi için kullanılabilir. Petrol bazlı malzemelerden yapılmış sentetik plastiğe daha iyi bir alternatif olabilirler. Kenevir bazlı plastikler paketleme ve teknik amaçlar için kullanılabilir. Dayanıklılıkları, hafiflikleri ve çevresel uyumlulukları nedeniyle özellikle uygundur. Kenevir sapları ayrıca fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için biyoyakıt olarak kullanılabilir. Kenevir, ısı üretimi için briketler veya peletler, elektrik için biyokütle veya araç yakıtı gibi çeşitli enerji ürünlerine dönüştürülebilir. Ayrıca kenevir lifi, yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir özelliklerinden dolayı son zamanlarda bir polimer matris takviyesi olarak büyük ilgi görmüştür. Kenevir sapı, endüstriyel kenevir işleminin yan ürünüdür ve katı biyoyakıt, odun kömürü ve peletler dahil olmak üzere biyokütle bazlı enerji uygulamalarında kullanılabilecek türden mükemmel odunsu malzemelerden biridir. Kenevir saplarının fiziksel özellikleri, yakıt özellikleri ve bazı özellikleri ağaç türlerinden ve hatta kendi çeşitlerinden önemli ölçüde farklıdır. Bu parametreler, kullanımının belirlenmesinde temel faktörlerdir (Chaowana & ark., 2024). Kenevir, ısı (briketlerden veya peletlerden), elektrik (balyalanmış biyokütleden) veya araç yakıtı (örneğin, anaerobik çürüme sonucu

biyogaz) veya fermantasyondan etanol gibi farklı enerji ürünleri üretmek için kullanılabilir. Kenevir, kuzey Avrupa'da yaygın olan diğer birçok enerji mahsulününki kadar veya onlardan daha yüksek potansiyel enerji verimine sahiptir. Kenevir çok az pestisit gerektirir ve çok iyi bir yabancı ot rakibi olduğundan, sonraki mahsul için bile pestisit kullanımını azaltma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir. Kenevir biyokütlesinin biyogaz veya etanole enerji dönüşümünün umut verici enerji verimlerine sahip olduğu gösterilmiştir. (Prade & ark., 2012).

Enerji için yetiştirilen kenevir, tahıllara kıyasla kârlı bir hammadde üretimi sağlamalıdır. Biyokütle yakıldığında fosil yakıtlara kıyasla daha az gaz (CO₂, CO, SO₂) üretir (Burezyk & ark., 2008).

Enerji üretimi için kenevir kullanımı iki nedenden dolayı çekici görünebilir (Teirumnieka & ark., 2023):

- Kenevirden elde edilen yeşil mahsul verimi 14 - 15 t/ha aralığında olup, bunun %70-75'i genellikle tarlada bırakılan ve organik bir gübre oluşturan kenevir kovanlarıdır.
- Sonbaharda toplanan kenevirden (yaklaşık 18,4 MJ/kg) daha yüksek bir ısı değerine (ortalama 19,1 MJ/kg) sahip olduğu için kenevir ilkbahar veya kış aylarında hasat edilir. Kenevir biyokütlesi, enerji kaynaklarının özelliklerinde önemli bir sapma gösterir: hasat mevsimine bağlı olarak ısı değeri, kül içeriği ve kül erime sıcaklığı değişir.

Hasattan sonra mevcut kenevir kovanlarının miktarı oldukça fazladır ve yüksek kalorifik değere sahiptir. Bu nedenle, termokimyasal dönüşüm için kenevir kovanlarının kullanılmasının değerlendirilmesindeki bir sonraki adım, külün erime noktası, hava akışındaki emisyonlar ve kül içeriği gibi bu biyokütlenin diğer özelliklerini belirlemektir (Teirumnieka & ark., 2023).

Sonuçlar

Günümüzde hızla artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların hızla tükenmesi sonucu alternatif enerji kaynakları arayışı ortaya çıkmıştır. Ayrıca fosil yakıtların başta küresel ısınma olmak üzere çevreye olan zararları göz önüne alındığında temiz, yenilenebilir ve

evre dostu enerji kaynakları gündeme gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise son yıllarda biyokütle enerjisi oldukça ilgi çekmeye başlamıştır.

Bir tür biyokütle olan enerji bitkileri yenilenebilir ve evre dostu bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji bitkileri bitkilerden enerji elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Enerji temini için enerji bitkilerinden faydalanarak hem enerji temini konusunda dışa bağımlılığı azaltmak hem de enerji tüketimi sonucu ortaya çıkan evre kirliliğini azaltmak mümkündür. Enerji bitkilerinden elektrik, ısı enerjisi ve biyoyakıt olmak üzere çeşitli enerji türlerini üretmek mümkündür. Diğ r enerji kaynaklarına göre yüksek verim, düşük maliyet, düşük kirl tici içeriğı, yenilenebilir olması, bol bulunuşu gibi çeşitli üstünlüklere sahiptir. Ayrıca yetiştirildiğı bölge için istihdam da yaratmaktadır. Enerji temini için enerji bitkileri kullanıldığında ekonomik ve verimli üretim için enerji bitkisi seçiminde kuraklık ve soğuk gibi iklimsel değışikliklere yüksek tolerans, düşük su ve gübre gereksinimi, düşük girdi ile yüksek verim ve bölgenin toprak yapısının uygunluğı gibi özellikler önemli olmaktadır. Enerji  retiminde en çok kullanılan enerji bitkileri arasında ise şeker kamışı, şeker pancarı, kolza, aspir, ay ieğı ve mısır sayılabilir. şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, kenevir ve sorgumdan etanol; mısır ve kenevirden biyogaz; kolza, soya fasülyesi ve aspiden biyodizel ve kenevirden biyokömür elde edildiğı bilinmektedir.

Türkiye enerji ithalatçısı bir ülke olmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Enerji temini konusunda biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir yerel kaynakların kullanılmasıyla hem enerji konusundaki dışa bağımlılık azalacak hem de daha az evre kirliliğı yaratan enerji kaynakları kullanılmış olacaktır.

KAYNAKÇA

Abreu, M., Silva, L., Ribeiro, B., Ferreira, A., Alves, L., Paixão, S. M., ... & Gírio, F. (2022). Low indirect land use change (ILUC) energy crops to bioenergy and biofuels—A review. *Energies*, 15(12), 4348. <https://doi.org/10.3390/en15124348>

Adie, M. M., & Krisnawati, A. (2014). Soybean opportunity as source of new energy in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(1), 37. doi: 10.14710/ijred.3.1.37-43

Agostini, A., Battini, F., Giuntoli, J., Tabaglio, V., Padella, M., Baxter, D., ... & Amaducci, S. (2015). Environmentally sustainable biogas? The key role of manure co-digestion with energy crops. *Energies*, 8(6), 5234-5265. doi:10.3390/en8065234

Al-Suhaibani, N., Seleiman, M. F., El-Hendawy, S., Abdella, K., Alotaibi, M., & Alderfasi, A. (2021). Integrative effects of treated wastewater and synthetic fertilizers on productivity, energy characteristics, and elements uptake of potential energy crops in an arid agro-ecosystem. *Agronomy*, 11(11), 2250. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112250>

Barontini, F., Simone, M., Triana, F., Mancini, A., Ragolini, G., & Nicolella, C. (2015). Pilot-scale biofuel production from sunflower crops in central Italy. *Renewable Energy*, 83, 954-962. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.043>

Ben-Iwo, J., Manovic, V., & Longhurst, P. (2016). Biomass resources and biofuels potential for the production of transportation fuels in Nigeria. *Renewable and sustainable energy reviews*, 63, 172-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.050>

Bergtold, J. S., Shanoyan, A., Fewell, J. E., & Williams, J. R. (2017). Annual bioenergy crops for biofuels production: farmers' contractual preferences for producing sweet sorghum. *Energy*, 119, 724-731. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.032>

Burczyk, H., Grabowska, L., Kołodziej, J., & Strybe, M. (2008). Industrial hemp as a raw material for energy production. *Journal of Industrial Hemp*, 13(1), 37-48. DOI: 10.1080/15377880801898717.

Chaowana, P., Hnoocham, W., Chaiprapat, S., Yimlamai, P., Chitbanyong, K., Wanitpinyo, K., ... & Puangsin, B. (2024). Utilization of hemp stalk as a potential resource for bioenergy. *Materials Science for Energy Technologies*, 7, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2023.07.001>

Cutz, L., Sanchez-Delgado, S., Ruiz-Rivas, U., & Santana, D. (2013). Bioenergy production in Central America: integration of sweet sorghum into sugar mills. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 529-542. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.007>

Ebrahimian, E., Denayer, J. F., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., & Karimi, K. (2022). Biomethane and biodiesel production from sunflower crop: A biorefinery perspective. *Renewable Energy*, 200, 1352-1361. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.069>

Finkenstadt, V. L. (2014). A review on the complete utilization of the sugarbeet. *Sugar Tech*, 16, 339-346. DOI 10.1007/s12355-013-0285-y

Finnan, J., & Styles, D. (2013). Hemp: A more sustainable annual energy crop for climate and energy policy. *Energy Policy*, 58, 152-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.046>

Fu, D. H., Jiang, L. Y., Mason, A. S., Xiao, M. L., Zhu, L. R., Li, L. Z., ... & Huang, C. H. (2016). Research progress and strategies for multifunctional rapeseed: A case study of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(8), 1673-1684. doi: 10.1016/S2095-3119(16)61384-9

Flenet, F., Poupart, A., & Wagner, D. (2007). Rapeseed is an efficient energy crop which can still improve. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 14(6), 354-359. <http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2007.0149>

Hashemi, S. S., Mirmohamadsadeghi, S., & Karimi, K. (2020). Biorefinery development based on whole safflower plant. *Renewable Energy*, 152, 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.049>

Huang, J., Khan, M. T., Perecin, D., Coelho, S. T., & Zhang, M. (2020). Sugarcane for bioethanol production: Potential of

bagasse in Chinese perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110296>

Ingrao, C., Giudice, A. L., Bacenetti, J., Tricase, C., Dotelli, G., Fiala, M., ... & Mbohwa, C. (2015). Energy and environmental assessment of industrial hemp for building applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 29-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.002>

Janković, B., Manić, N., Popović, M., Cvetković, S., Dželetović, Ž., & Stojiljković, D. (2023). Kinetic and thermodynamic compensation phenomena in C3 and C4 energy crops pyrolysis: Implications on reaction mechanisms and product distributions. *Industrial Crops and Products*, 194, 116275. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116275>

Karyoti, A., Giannoulis, K. D., Bartzialis, D., Hatzigiannakis, E., Skoufogianni, E., & Danalatos, N. G. (2021). Green manuring for low-input irrigated maize cultivation as an energy crop in Mediterranean climates. *International Journal of Plant Production*, 15, 563-575 <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00165-1>.

Khan, M. T., Seema, N., Khan, I. A., & Yasmine, S. (2017). Applications and potential of sugarcane as an energy crop. *Agricultural research updates*, 16, 1-24.

Kocar, G. (2008). Anaerobic digesters: from waste to energy crops as an alternative energy source. *Energy Sources, Part A*, 30(7), 660-669. DOI: 10.1080/00908310600628404

Koçar, G., & Civaş, N. (2013). An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. *Renewable and sustainable energy reviews*, 28, 900-916. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.022>

Kong, W., Baeyens, J., De Winter, K., Urrutia, A. R., Degreève, J., & Zhang, H. (2019). An energy-friendly alternative in the large-scale production of soybean oil. *Journal of environmental management*, 230, 234-244. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.059>

Matsuoka, S., Kennedy, A. J., Santos, E. G. D. D., Tomazela, A. L., & Rubio, L. C. S. (2014). Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects. *Advances in Botany*, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/597275>

Mayer, F., Gerin, P. A., Noo, A., Lemaigre, S., Stilmant, D., Schmit, T., ... & Delfosse, P. (2014). Assessment of energy crops alternative to maize for biogas production in the Greater Region. *Bioresource technology*, 166, 358-367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.054>

McGrath, J. M., & Townsend, B. J. (2015). Sugar beet, energy beet, and industrial beet. Cruz, V. M. V. & Dierig, D. A. (Eds.), *Industrial crops: Breeding for bioenergy and bioproducts*, (pp. 81-99). Colorado: Springer

McVetty, P. B., & Duncan, R. W. (2015). Canola, rapeseed, and mustard: for biofuels and bioproducts. Cruz, V. M. V. & Dierig, D. A. (Eds.), *Industrial Crops: Breeding for BioEnergy and Bioproducts*, (pp. 133-156). Colorado, Springer.

Ordonio, R., Ito, Y., Morinaka, Y., Sazuka, T., & Matsuoka, M. (2016). Molecular breeding of Sorghum bicolor, a novel energy crop. Jeon, K. W. (Ed.), *International review of cell and molecular biology*, (pp.221-257). Knoxville, Elsevier.

Palmieri, N., Forleo, M. B., Suardi, A., Coaloa, D., & Pari, L. (2014). Rapeseed for energy production: Environmental impacts and cultivation methods. *biomass and bioenergy*, 69, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.07.001>

Pandey, V. C., Bajpai, O., & Singh, N. (2016). Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 58-73. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.078>

Panella, L. (2010). Sugar beet as an energy crop. *Sugar Tech*, 12, 288-293. DOI 10.1007/s12355-010-0041-5

Parsaee, M., Kiani, M. K. D., & Karimi, K. (2019). A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and bioenergy*, 122, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.034>

Patzek, T. W. (2009). A first law thermodynamic analysis of biodiesel production from soybean. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 29(3), 194-204. DOI: 10.1177/0270467609334022

Prade, T., Svensson, S. E., Andersson, A., & Mattsson, J. E. (2011). Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel. *Biomass and bioenergy*, 35(7), 3040-3049. doi:10.1016/j.biombioe.2012.01.045

Ramedani, Z., Rafiee, S., & Heidari, M. D. (2011). An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. *Energy*, 36(11), 6340-6344. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.042>

Sampaio, M. C., Santos, R. F., Bassegio, D., De Vasconcelos, E. S., de Almeida Silva, M., Secco, D., & Da Silva, T. R. B. (2016). Fertilizer improves seed and oil yield of safflower under tropical conditions. *Industrial crops and products*, 94, 589-595. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.041>

Skoulou, V., Mariolis, N., Zanakis, G., & Zabaniotou, A. (2011). Sustainable management of energy crops for integrated biofuels and green energy production in Greece. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(4), 1928-1936. doi:10.1016/j.rser.2010.12.019

Stamenković, O. S., Siliveru, K., Veljković, V. B., Banković-Ilić, I. B., Tasić, M. B., Ciampitti, I. A., ... & Prasad, P. V. (2020). Production of biofuels from sorghum. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109769. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109769>

Teirumnieka, E., Patel, N., Laktuka, K., Dolge, K., Veidenbergs, I., & Blumberga, D. (2023). Sustainability Dilemma of Hemp Utilization for Energy Production. *Energy Nexus*, 100213. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100213>

Tew, T. L., & Cobill, R. M. (2008). Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In *Genetic improvement of bioenergy crops* (pp. 273-294). New York, NY: Springer New York.

Unakitan, G., & Aydın, B. (2018). A comparison of energy use efficiency and economic analysis of wheat and sunflower production in Turkey: A case study in Thrace Region. *Energy*, 149, 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.033>

Vávrová, K., Solcova, O., Knápek, J., Weger, J., Soukup, K., Humešová, T., ... & Bím, J. (2022). Economic evaluation of Hemp's (*Cannabis sativa*) residual biomass for production of direct energy or biochar. *Fuel*, 329, 125435. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125435>

Waclawovsky, A. J., Sato, P. M., Lembke, C. G., Moore, P. H., & Souza, G. M. (2010). Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnology Journal*, 8(3), 263-276. doi: 10.1111/j.1467-7652.2009.00491.x

Wongsirichot, P., Gonzalez-Miquel, M., & Winterburn, J. (2022). Recent advances in rapeseed meal as alternative feedstock for industrial biotechnology. *Biochemical Engineering Journal*, 180, 108373. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108373>

Xu, X., Englund, O., Dimitriou, I., Rosenqvist, H., Liu, G., & Mola-Yudego, B. (2023). Landscape Metrics and Land-Use Patterns of Energy Crops in the Agricultural Landscape. *BioEnergy Research*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10584-9>

Zabaniotou, A. A., Kantarelis, E. K., & Theodoropoulos, D. C. (2008). Sunflower shells utilization for energetic purposes in an integrated approach of energy crops: Laboratory study pyrolysis and kinetics. *Bioresource Technology*, 99(8), 3174-3181. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.060>

Zanetti, F., Angelini, L. G., Berzuini, S., Foschi, L., Clemente, C., Ferioli, F., ... & Tavarini, S. (2022). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) a winter multipurpose oilseed crop for the Mediterranean region: Lesson learnt from on-farm trials. *Industrial Crops and Products*, 184, 115042. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115042>

Zegada-Lizarazu, W., & Monti, A. (2011). Energy crops in rotation. A review. *Biomass and bioenergy*, 35(1), 12-25. doi:10.1016/j.biombioe.2010.08.001

Zhang, A., Gao, J., Quan, J., Zhou, B., Lam, S. K., Zhou, Y., ... & Guan, Y. (2021). The implications for energy crops under China's climate change challenges. *Energy Economics*, 96, 105103. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105103>

Modern Elektrik Teknolojileri: Tasarım, Optimizasyon ve Güvenlik I

Sevgili Okuyucular,

Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, günümüzün hızla değişen teknolojik peyzajında öncü bir role sahiptir. Bu dinamik alandaki gelişmeler, sadece mühendislik dünyasını değil, aynı zamanda küresel toplumları da etkilemektedir. Bu kitap, Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği disiplininde kayda değer çalışmaları ve bunları günlük yaşantımıza entegre etmek isteyen herkese rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Umuyoruz ki bu kitap, Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği alanındaki merakınızı heyecan verici yolda bir adım ileriye taşır.

