

TÜRK DÜNYASINDA ENERJİ TEKNOLOJİLERİ VE İNOVASYON ALANINDAKİ GELİŞMELER: FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME KATKILI METAL KÖPÜKLER*

Adnan SÖZEN**

Özet: Türk dünyası ülkeleri, enerji teknolojileri ve inovasyon alanında çeşitli gelişmeler kaydetmektedir ve bu kapsamda faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin uygulama alanlarına yönelik araştırmalar ve çalışmalar da yapılmaktadır. Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, enerji teknolojileri ve inovasyon alanında son zamanlarda dikkat çeken bir gelişmedir. Bu malzemeler, metal köpüklerin özelliklerini ve avantajlarını, faz değiştiren malzemelerin özellikleriyle birleştirilerek bir dizi farklı uygulama alanında kullanılabilirler. Bu malzemelerin kullanımıyla enerji depolama, sıcaklık kontrolü, termal konfor ve soğutma gibi çeşitli alanlarda daha verimli ve sürdürülebilir çözümler geliştirmek mümkündür. Bu çalışmada hızla gelişen enerji teknolojileri anlamında Türk Dünyası ülkeleri arasında enerji konusundaki gelişmeler ile özellikle enerji verimliliği, enerji depolama, Güneş enerjisi kullanımında hızla yaygın hale gelen faz değiştiren malzeme katkılı metal köpük teknolojileri ele alınacaktır.

Anahtar Kelimeler: Türk Dünyası, Enerji Teknolojileri, Faz Değiştiren Malzemeler, Metal Köpükler

Developments in the Field of Energy Technologies and Innovation in the Turkish World: Phase Changing Material Additive Metal Foams

Abstract: The countries of the Turkish world are making various developments in the field of energy technologies and innovation, and in this context, research and studies are being carried out on the application areas of phase change material-added metal foams. Phase change material-doped metal foams are a recent remarkable development in the field of energy technologies and innovation. These materials can be used in a number of different applications by combining the properties and advantages of metal foams with those of phase change materials. With the use of these materials, it is possible to develop more efficient and sustainable solutions in various areas such as energy storage, temperature control, thermal comfort and cooling. In this study, the developments in energy among the Turkic World countries in terms of rapidly developing energy technologies, especially energy efficiency, energy storage and phase change material-doped metal foam technologies, which are rapidly becoming widespread in the use of solar energy, will be discussed.

Key Words: Turkish World, Energy Technologies, Phase Change Materials, Metal Foams

Giriş

Türk dünyasında enerji sektörü, son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması, enerji depolama teknolojilerinin gelişimi ve enerji verimliliğine yönelik çalışmalar, bölgedeki enerji teknolojilerinin evriminde belirleyici faktörler olmuştur. Bu bağlamda, faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin enerji alanındaki potansiyeli önemli bir araştırma konusu hâline gelmiştir.

Günümüzde enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan talep giderek artmaktadır. Bu nedenle, enerji depolama, termal yönetim ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi alanlarda yeni ve etkili çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, yüksek yüzey alanı ve termal depolama kapasitesi gibi özellikleriyle bu ihtiyacı karşılamak için potansiyel sunmaktadır. Bu makalede, Türk dünyasındaki enerji teknolojilerinin gelişiminde faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin rolü ve uygulamaları incelenecektir. Türk dünyası ülkeleri arasında faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin uygulama alanlarına yönelik araştırmalar ve çalışmaların potansiyel uygulama alanları (Şekil 1) şunlardır:

- Termal Enerji Depolama Sistemleri: Türk dünyası ülkeleri, özellikle güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanmak için termal enerji depolama sistemleri üzerine araştırmalar yapmaktadır. Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, bu sistemlerde termal enerjiyi depolamak için kullanılabilirler. Özellikle

* Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FPD-2023-8714 kodlu “Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Metal Köpük Kompozit Isı Kuyularının Geliştirilmesi” başlıklı proje ile desteklenmiştir.

** Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, asozen@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8373-2674

güneş enerjisi odaklı uygulamalarda, güneşten gelen enerjinin depolanması ve istenildiğinde kullanılması için bu malzemelerin kullanımı önemlidir.

- **Enerji Verimliliği ve Yalıtım Çözümleri:** Türk dünyası ülkelerinde enerji verimliliği önemli bir konudur ve bina yalıtımı gibi alanlarda inovatif çözümlere ihtiyaç vardır. Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, bina yalıtımında kullanılarak iç mekandaki sıcaklık dalgalanmalarını azaltabilir ve enerji tüketimini optimize edebilir.

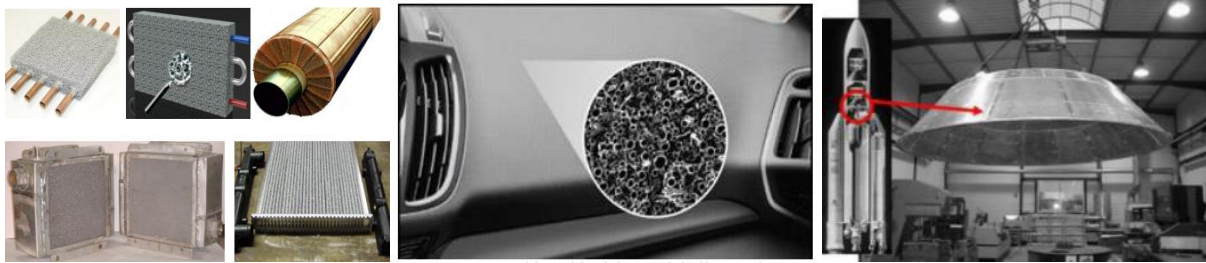
- **Güneş Enerjisi Kullanımı ve Fotovoltaik Uygulamalar:** Güneş enerjisi Türk dünyası ülkelerinde potansiyel olarak büyük bir enerji kaynağıdır. Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, güneş enerjisi kullanımı ve fotovoltaik uygulamalarda termal enerjinin depolanmasında kullanılabilir. Bu şekilde, güneş enerjisinin daha sürekli ve etkili bir şekilde kullanılması sağlanabilir.

- **Isı Kontrollü Ambalajlar ve Taşıma Çözümleri:** Gıda, ilaç ve tıbbi malzemeler gibi hassas ürünlerin taşınması sırasında sıcaklık kontrolü kritik bir öneme sahiptir. Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, sıcaklık kontrollü ambalajlar ve taşıma çözümlerinde kullanılarak ürünlerin istenilen sıcaklık aralığında korunması sağlar.

- **Endüstriyel Soğutma Uygulamaları:** Türk dünyası ülkelerinde endüstriyel sektörlerde soğutma ihtiyacı yüksektir. Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, endüstriyel soğutma uygulamalarında kullanılarak enerji verimliliğini artırabilirler ve endüstriyel süreçlerde daha sürdürülebilir çözümler sunulabilir.

Bu uygulama alanları, Türk dünyası ülkelerinde faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin enerji teknolojileri ve inovasyon alanındaki potansiyelini göstermektedir. Bu malzemelerin kullanımıyla enerji verimliliği artırılabilir, yenilenebilir enerji kaynakları daha etkili bir şekilde kullanılabilir ve enerji sistemlerinin daha sürdürülebilir hale getirilmesine katkı sağlayabilir.

Şekil 1: Metal köpük uygulama örnekleri (Sertkaya, 2013: 25).



1. Türk Dünyası Enerji Teknolojilerindeki Gelişmeler

Türk dünyasında enerji teknolojileri ve inovasyon alanındaki gelişmeler genellikle Türkiye'nin liderliğindeki projeler ve bölgesel iş birlikleriyle şekillenmektedir. Bu gelişmeler arasında şunlar bulunmaktadır:

1. **Yenilenebilir Enerji:** Türkiye, son yıllarda yenilenebilir enerjiye büyük yatırımlar yapmaktadır. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi alanında önemli projeler hayata geçirilmekte ve bu alanlarda teknolojik gelişmeler takip edilmektedir.

2. **Enerji Depolama:** Elektrik enerjisinin depolanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için kritik önem taşımaktadır. Türkiye'de enerji depolama teknolojileri üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları sürmektedir.

3. **Enerji Verimliliği:** Türkiye, enerji verimliliği alanında da çalışmalarını sürdürmektedir. Sanayi, ulaşım ve konut sektörlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik projeler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

4. **Hibrit ve Elektrikli Araçlar:** Otomotiv sektöründe hibrit ve elektrikli araçlar üzerine yapılan Ar-Ge çalışmaları önem kazanmaktadır. Türkiye'de bu alanda üretim kapasitesinin artırılması ve yerli markaların geliştirilmesi hedeflenmektedir.

5. İnovasyon ve İş Birlikleri: Türkiye, Türk dünyası ülkeleriyle enerji alanında iş birlikleri kurarak ortak projeler yürütmekte ve inovasyonu teşvik etmektedir. Bu iş birlikleri, teknoloji transferini ve bilgi paylaşımını kolaylaştırarak bölgesel enerji güvenliğine katkı sağlamaktadır.

Türk dünyasında enerji teknolojileri ve inovasyon alanındaki gelişmeler, sadece Türkiye ile sınırlı kalmayıp, bölgesel iş birlikleri ve ortak projeler aracılığıyla geniş bir coğrafyaya yayılmaktadır. Bu alanlardaki ilerlemeler, sürdürülebilir enerji kullanımı ve çevresel koruma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye, Türk dünyasında enerji teknolojileri ve inovasyon alanındaki gelişmelerde önemli bir role sahiptir. Türkiye'nin bu alandaki rolünü şu şekilde özetleyebiliriz:

1. Yatırımlar ve Projeler: Türkiye, yenilenebilir enerji alanında bölgede önemli yatırımlar yapmaktadır. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi projelerinde lider konumdadır. Türkiye'nin bu alandaki yatırımları, Türk dünyasında yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasına ve sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkılar sağlamaktadır.

2. Teknolojik Gelişmeler: Türkiye, enerji teknolojileri alanında Ar-Ge çalışmalarına büyük önem vermektedir. Ülke, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesi konularında çeşitli projeler yürütmektedir. Bu çalışmalar Türk dünyasında enerji teknolojilerinin ilerlemesine katkı sağlamaktadır.

3. İş Birlikleri ve Diplomasi: Türkiye, enerji alanında Türk dünyası ülkeleriyle iş birlikleri kurarak ortak projeler yürütmekte ve teknoloji transferini desteklemektedir. Ayrıca, Türkiye'nin bölgesel enerji diplomasisi, Türk dünyası ülkeleri arasında enerji güvenliğini artırmaya yönelik önemli adımlar atmaktadır.

4. Eğitim ve Kapasite Geliştirme: Türkiye, enerji teknolojileri ve inovasyon alanında insan kaynağının yetiştirilmesi ve kapasite geliştirilmesine de önem vermektedir. Üniversitelerde enerji mühendisliği ve benzeri alanlarda eğitim programları bulunmakta ve bu alanda uzmanlaşmış personel yetiştirilmektedir.

Türkiye'nin enerji teknolojileri ve inovasyon alanındaki bu rolü, Türk dünyası ülkeleri arasında iş birliğini ve teknoloji transferini teşvik ederek bölgesel enerji güvenliğine ve sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamaktadır. Bu konuda Türkiye'nin enerji teknolojileri ve inovasyon alanında uygulama alanı bulmuş bazı önemli projelerden bazıları:

1. Güneş Enerjisi Santralleri (GES) Projeleri: Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli yüksek bir ülke konumunda. Bu doğrultuda, çeşitli bölgelerde Güneş Enerjisi Santralleri kurulmaktadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan büyük ölçekli GES projeleri, ülkenin güneş enerjisi alanındaki kapasitesini artırmaktadır.

2. Rüzgar Enerjisi Santralleri (RES) Projeleri: Türkiye'nin sahip olduğu coğrafi konum, rüzgar enerjisi potansiyelini de ortaya koymaktadır. Ülke genelinde birçok bölgede rüzgar enerjisi santralleri kurulmuş ve kurulmaya devam etmektedir. Özellikle Ege ve Marmara bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerde büyük ölçekli RES projeleri bulunmaktadır.

3. Hidroelektrik Santraller (HES) Projeleri: Türkiye'nin su kaynakları bakımından zengin olması, hidroelektrik enerji üretimi için uygun bir ortam sağlamaktadır. Ülkenin birçok bölgesinde hidroelektrik santraller bulunmakta ve yeni projeler hayata geçirilmektedir.

4. Enerji Depolama Projeleri: Elektrik enerjisinin depolanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Türkiye'de enerji depolama teknolojileri üzerine çeşitli Ar-Ge projeleri yürütülmekte ve depolama sistemleri kurulmaktadır.

5. Enerji Verimliliği Projeleri: Sanayi, ulaşım ve konut sektörlerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli projeler hayata geçirilmektedir. Bu projeler kapsamında enerji verimliliğini artıran teknolojilerin uygulanması ve enerji tasarrufu sağlayan yöntemlerin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

Bu projeler, Türkiye'nin enerji teknolojileri ve inovasyon alanındaki çabalarını ve bölgesel enerji güvenliğine katkılarını göstermektedir. Ayrıca, Türk mühendislik ve inşaat şirketlerinin uluslararası alanda da benzer projelerde rol aldığı bilinmektedir.

Türk dünyasında gerçekleşmiş bazı önemli enerji projeleri şunlardır:

1. TANAP Projesi (Trans-Anadolu Doğalgaz Boru Hattı): Türkiye, Azerbaycan ve Gürcistan arasında gerçekleştirilen bu proje, Hazar Denizi'nden doğalgazı Türkiye üzerinden Avrupa'ya taşıyan bir boru hattıdır. Proje, Türkiye'nin enerji transit ülke konumunu güçlendirmiş ve bölgesel enerji güvenliğine katkı sağlamıştır.

2. Türk Akımı Projesi: Türkiye ve Rusya arasında imzalanan bu proje kapsamında, Karadeniz'in altından Türk Akımı adı verilen bir doğalgaz boru hattı inşa edilmiştir. Proje, Rus doğalgazını Türkiye'ye ve Avrupa'ya taşımak için önemli bir altyapı oluşturmuştur.

3. Kafkasya Elektrik İletim Hattı (KATE): Türkiye, Gürcistan ve Azerbaycan arasında gerçekleştirilen bu proje, Gürcistan üzerinden Türkiye'ye elektrik iletimini sağlamaktadır. Proje, enerji altyapısının bölgesel entegrasyonunu artırmış ve elektrik ticaretini kolaylaştırmıştır.

4. Kuzey Kıbrıs Türk Elektrik Dağıtım Ağı Projesi: Türkiye'nin Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ne yönelik destekleri kapsamında gerçekleştirilen bu proje, elektrik dağıtım altyapısının geliştirilmesini ve enerji güvenliğinin artırılmasını hedeflemektedir.

5. Türk İşbirliği ve Koordinasyon Ajansı Başkanlığı (TİKA) Projeleri: TİKA, Türkiye'nin kalkınma işbirliği ajansı olarak Türk dünyası ülkelerinde çeşitli enerji projelerini desteklemektedir. Bu projeler arasında enerji altyapısının iyileştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji verimliliği alanlarında çalışmalar bulunmaktadır.

Bu projeler Türk dünyası ülkeleri arasında enerji iş birliğini ve bölgesel kalkınmayı destekleyen önemli adımlardır.

Türk dünyası perspektifinde enerji konusundaki son gelişmeler ve trendler oldukça çeşitli alanlarda görülebilir. Bu konuda yapılan akademik çalışmalar da genellikle aşağıdaki temel konular üzerine yoğunlaşmaktadır:

Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Türk dünyasında özellikle güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Bu alanlarda yapılan akademik çalışmalar, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi, yaygınlaştırılması ve verimliliğinin artırılması üzerine odaklanılmaktadır.

Enerji verimliliği ve Sürdürülebilirlik: Türk dünyasındaki akademik çalışmalar, enerji verimliliği önlemlerinin alınması, enerji tüketiminin azaltılması ve sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Bu çerçevede yapılan çalışmalar, endüstriyel tesislerden kentsel alanlara kadar geniş bir yelpazede enerji verimliliği potansiyelini araştırmaktadır.

Enerji Politikaları ve Stratejileri: Türk dünyası ülkeleri, enerji politikalarını ve stratejilerini sürekli olarak gözden geçirmekte ve güncellemektedir. Bu bağlamda yapılan akademik çalışmalar, enerji politikalarının analizi, ulusal enerji güvenliğinin sağlanması, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve uluslararası enerji ilişkileri üzerine yoğunlaşmaktadır.

Enerji Teknolojileri ve İnovasyon: Türk dünyası ülkeleri, enerji teknolojileri ve yenilikçi çözümler konusunda da araştırmalar yapmaktadır. Bu çerçevede gerçekleştirilen akademik çalışmalar, enerji depolama sistemleri, akıllı şebekeler, elektrikli araçlar gibi alanlarda teknolojik gelişmeleri ve yenilikleri incelemektedir.

Enerji Güvenliği ve Jeopolitik Dinamikler: Türk dünyası ülkeleri, enerji güvenliği ve jeopolitik dinamikler konusunda da önemli çalışmalar yapmaktadır. Bu kapsamda yapılan akademik araştırmalar, enerji kaynaklarının uluslararası ticareti, enerji güvenliğinin sağlanması için işbirliği modelleri ve bölgesel enerji projelerinin jeopolitik etkileri gibi konuları ele almaktadır.

Bu temel konular Türk dünyası perspektifinde enerji alanında yapılan akademik çalışmalarda öne çıkan başlıklardır. Her biri, bölgenin enerji sektöründeki gelişmeleri anlamak ve daha sürdürülebilir, güvenli ve verimli enerji sistemleri için politika önerileri geliştirmekte yol haritası olacaktır.

2. Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Metal Köpükler

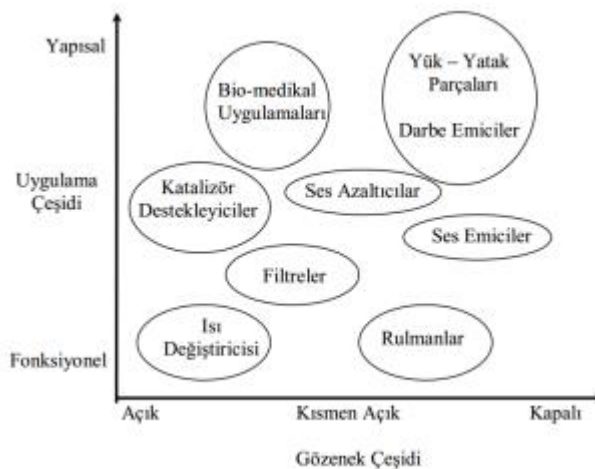
Faz değiştiren metal köpükler, termal yönetim uygulamalarında kullanılan özel bir malzeme türüdür. Bu malzemeler, tipik olarak alüminyum, bakır veya nikel gibi metallerin köpük haline getirilmiş versiyonlarıdır. Faz değiştirme özelliği, belirli bir sıcaklık aralığında katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçiş yapabilme yeteneği anlamına gelir.

Bu metal köpükler, ısı depolama ve transferinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Özellikle sıcaklık kontrolü gerektiren endüstriyel süreçlerde, enerji depolama sistemlerinde ve termal yönetim uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Faz değiştiren metal köpüklerin avantajları arasında yüksek ısı iletkenliği, düşük yoğunluk, hafiflik, dayanıklılık ve kimyasal direnç bulunmaktadır. Bu özellikler, onları birçok uygulama için cazip hale getirir. Örneğin, faz değiştiren metal köpükler, güneş enerjisi sistemlerinde, elektrikli araçlarda soğutma sistemlerinde, ısı pompalarında, havacılık ve uzay endüstrisinde termal kontrol sistemlerinde kullanılabilirler. Ayrıca, binalarda enerji verimliliğini artırmak için ısı depolama ve termal konfor sistemlerinde de kullanılmaktadırlar. Faz değiştiren metal köpükler, termal yönetimde çevre dostu ve yüksek performanslı bir çözüm sunarlar, bu nedenle gelecekte daha geniş bir uygulama alanı bulmaları beklenmektedir.

Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Metal Köpüklerin Özellikleri: Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler, metal köpüklerin yüksek yüzey alanı ve düşük yoğunluğu ile faz değiştiren malzemelerin termal depolama kapasitesinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş bir malzeme türüdür. Bu malzemeler, belirli bir sıcaklık aralığında faz değiştirerek termal enerji depolama kapasitesini artırır. Ayrıca, metal köpüklerin yüksek ısı iletimi özelliği, termal enerjinin hızlı bir şekilde depolanması ve salınmasını sağlar.

Uygulama Alanları: Türk dünyasında, faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin enerji teknolojilerinin gelişiminde çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır (Şekil 2). Bunlar arasında güneş enerjisi depolama sistemleri, endüstriyel ısıtma ve soğutma uygulamaları, bina yalıtımı ve termal konfor uygulamaları yer almaktadır. Bu uygulamalar, enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması ve enerji sistemlerinin daha sürdürülebilir hale getirilmesi açısından önemlidir.

Şekil 2: Gözenek yapısına göre metal köpük uygulama alanları



Faz değiştiren metal köpük malzemeleri, enerji alanında çeşitli uygulamalara sahiptir. İşte bazı örnekler:

1. Güneş Enerjisi Sistemleri: Faz değiştiren metal köpükler, güneş enerjisi sistemlerinde sıcaklık kontrolü için kullanılabilir. Özellikle güneş enerjisi toplama ve depolama sistemlerinde, faz değiştiren malzemeler ısıyı depolayabilir ve kullanıma ihtiyaç duyulduğunda serbest bırakabilir. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırabilir ve enerji depolama kapasitesini optimize edebilir.

2. Isı Pompaları: Faz değiştiren metal köpükler, ısı pompalarında sıcaklık kontrolü için kullanılabilir. Isı pompaları, iç veya dış mekanlardan ısıyı alıp bir yerden başka bir yere taşıyan sistemlerdir. Faz değiştiren malzemeler, bu süreçte ısıyı depolamak ve taşımak için kullanılabilir, bu da ısı pompalarının verimliliğini artırabilir.

3. Binalarda Termal Konfor: Faz değiştiren metal köpükler, binalarda termal konforu artırmak için kullanılabilir. Özellikle pasif soğutma veya ısı depolama sistemlerinde, bu malzemeler güneş ışığını veya dış ortam sıcaklığını absorbe edebilir ve iç mekandaki sıcaklık dalgalanmalarını azaltabilir.

4. Elektrikli Araç Soğutma Sistemleri: Elektrikli araçların soğutma sistemlerinde, faz değiştiren metal köpükler termal yönetimi iyileştirmek için kullanılabilir. Özellikle batarya soğutma sistemlerinde, faz değiştiren malzemeler ısıyı etkin bir şekilde depolayabilir ve bataryaların aşırı ısınmasını önleyebilir.

5. Endüstriyel Süreçler: Endüstriyel süreçlerde, faz değiştiren metal köpükler enerji depolama ve transferi için kullanılabilir. Özellikle yüksek sıcaklıkta çalışan endüstriyel sistemlerde, faz değiştiren malzemeler ısıyı depolayabilir ve işlem sırasında enerji tüketimini optimize edebilir.

Faz değiştiren malzeme katkılı metal köpükler konusunda literatürdeki bazı örnekler incelendiğinde;

Yu vd. (2023: 83), çalışmalarında elektrikli araçların gelişmesiyle birlikte, lityum pillerin sıcaklığını güvenli aralıkta kontrol etmek için verimli bir pil termal yönetim (BTM) sisteminin geliştirilmesinin önemini vurgulayarak kare lityum demir fosfat pillerin ısı üretim özelliklerini incelenmiş ve lityum pillerin termal yönetimine faz değişim malzemeleri (PCM'ler) uygulamışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, lityum pilin yüzey sıcaklığının elektrot yakınında daha yüksek, elektrottan uzakta daha düşük olduğunu ve sıcaklığın ortam sıcaklığı ve deşarj hızının artmasıyla arttığını göstererek bakır-köpük parafin, pil yüzey sıcaklığını saf parafinden 4,1 °C daha düşük olan 46,9 °C'ye düşürebildiklerini deneysel araştırmalarında tespit etmişlerdir. Bu temelde, bataryanın ısı üretim özelliklerine göre, hava soğutmalı kanala sahip batarya paketi, PCM'nin ağırlığını azaltmak ve elektrikli araçların dayanıklılığının geliştirilmesine yardımcı olan PCM'nin yenilenmesini hızlandırmak için tasarlamışlardır. Deneysel sonuçlar, PCM soğutma ve hava soğutmanın birleşiminin daha iyi termal yönetim etkisine sahip olduğunu göstermektedir.

Nematpour vd. (2023: 1) çalışmalarında evsel ve endüstriyel güneş enerjisi uygulamalarına yönelik düz plakalı güneş enerjisi kolektör sistemlerinde Faz Değişim Malzemesi (PCM) olarak parafinin termal performansını iyileştirmeye yönelik çözümler sunmaktadır. Bu çözümler, enerji arz ve talep zaman gecikmesi problemini çözmenin etkili bir yolu olarak kabul edilmektedir. Bu sorunu çözmek için, birlikte veya ayrı ayrı üç farklı yöntem önermişlerdir: yani 0,92 veya 0,95 gözenekliliğe sahip 10 PPI alüminyum köpük, ağırlıkça %5'lik çeşitli nanopartikül türleri ve üç farklı konfigürasyonda geometride modifikasyonlar kullanmışlardır.

Rigethi vd. (2022: 2) çalışmalarında gizli termal enerji depolarının, büyük miktardaki enerjinin küçük hacimlerde depolanmasına yardımcı olabileceği, ancak şarj ve deşarj sürelerinin aşırı derecede uzun olduğunu vurgulayarak köpük ilavesinin, faz değiştiren malzemelerin şarj ve deşarj sürelerini sırasıyla 10 ve 5 kata kadar önemli ölçüde kısaltabildiğini deneysel olarak gösterilmiştir. Halka içine yerleştirilmiş alüminyum köpükle doyurulmuş Faz Değişim Malzemesi ile suyun boru içinde aktığı bir boru içi boru ısı eşanjörü

deneysel olarak test ederek üç farklı köpük numunesinin test edilmesi, köpük gözenek yoğunluğunun, su akış hızının, etkilerini şarj ve deşarj işlemleri için incelemiştir.

Bian vd. (2024: 3) çalışmalarında yüksek iletkenliğe sahip destekleyici köpük malzemesine sahip birleştirilmiş faz değişim malzemesi (CPCM), organik PCM'ler, yani parafin mumu (PW) için düşük ısı iletim kapasitesi ve olası sıvı faz sızıntısı dezavantajlarının üstesinden gelen termal enerji yönetimi için umut verici gelişmeler olduğunu belirterek hassas bir şekilde ayarlanabilir mikro yapı ve gözeneklilik elde etmek için Voronoi mozaiklemelerinin küçültülmesiyle her gözenegin içine iç kanatçıklar eklenerek yapılandırılmış basit ve uygulanabilir bir hiyerarşik metal köpük (HMF) üretmişlerdir.

Faz değiştiren malzemeler (FDM) yüksek ısı tutabilme ve sabit sıcaklıkta erime/katılaşma faz değişimlerini gerçekleştirmeleri açısından elektronik sistemlerin, elektrikli araç bataryalarının ve uydu sistemlerinin termal yönetiminde kullanılabilir. Pasif soğutma prensibine dayandıkları için özellikle elektronik ve batarya sistemlerinde kullanılmak üzere maliyet etkin bir çözüm oluştururlar. Ancak, FDM'lerin düşük termal iletkenlikleri sebebi ile kendi başlarına kullanılması ısı transferi açısından etkin bir yöntem değildir. Bu sebeple FDM'ler termal iletkenlikleri yüksek malzemeler ile kompozit bir yapı oluşturularak kullanılmalıdır. Açık gözenekli metal köpükler yüksek porozite ve birbirleri ile bağlantılı birçok odacığa sahiptir. Açık gözenekli köpüklere FDM emdirilmesi ile metal köpüklerin yüksek termal iletkenliklerinden ve FDM'lerin ısı depolama kapasitelerinden ortaklaşa faydalanılır.

Sonuç

Türk dünyasında, enerji teknolojilerinin gelişiminde faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin potansiyeli önemli bir araştırma konusudur. Bu malzemeler, enerji depolama, termal yönetim ve termal konfor gibi alanlarda yeni ve etkili çözümler sunmaktadır. Ancak, daha fazla araştırma ve geliştirme çalışması gerekmektedir, özellikle de bu malzemelerin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi açısından teknolojik gelişmelerin takibi gerekmektedir.

Günümüzde, metalik köpüklerin yapısal ve fonksiyonel malzeme olarak kullanımına artan bir ilgi var, çünkü yüksek dayanımlı ve hafif malzemelere olan ihtiyaç artıyor. Otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok alanda, titreşim, ses ve enerji sönümleme gibi özelliklerinden dolayı metalik köpüklerin kullanımı yoğun araştırmalara konu olmaktadır. Metalik köpükler sadece havacılık ve otomotiv endüstrisinde değil, aynı zamanda enerji santralleri, elektrik endüstrisi, mimarlık ve tasarım alanlarında da kullanılmaktadır. Büyük makinelerde ses ve titreşim sönümleme kapasitesi sayesinde metalik köpüklerin kullanımı artmıştır. Otomobil endüstrisinde metalik köpüklerin kullanımı, sac gövde yapımından motor kaputuna kadar birçok parçada giderek artmaktadır. Ayrıca, elektrikli araçlarda batarya yuvalarında ve çeşitli batarya malzemelerinde ağırlık azaltma ve verim artırma amacıyla metalik köpüklerin kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Metalik köpüklerin ısı iletkenliği düşük olduğundan, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında daha uzun ömürlü olabilirler. Metalik köpüklerin motor kısmında kullanılması durumunda, gözeneklilik nedeniyle yüksek taşınım ısı transferi gerçekleştiğinden, daha az sorun oluşturmaktadır.

Bu makale, Türk dünyasındaki enerji teknolojilerinin gelişiminde faz değiştiren malzeme katkılı metal köpüklerin rolünü ve uygulama alanlarını anlamak için bir çerçeve sunmaktadır. Bu malzemelerin potansiyeli, enerji sektöründeki gelecekteki gelişmeler için önemli ipuçları sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Bian, Z., Hou, F., Bai, Y., Dong, Q., Wang, H. (2024). “Composited phase change material with hierarchical metal foam for efficient thermal energy management”. *Applied Thermal Engineering*, Volume 236, Part C, 121745.

- Nematpour, A., Marcello Iasiello, K., Langella, G., Bianco, N. (2023). “Increasing melting and solidification performances of a phase change material-based flat plate solar collector equipped with metal foams, nanoparticles, and wavy wall-Y-shaped surface”, *Energy Conversion and Management*, Volume 291: 117-268.
- Righetti, G., Zilio, C., Longo, G.A., Hooman, K., Mancin, S. (2022). “Experimental study on the effect of metal foams pore size in a phase change material based thermal energy storage tube”. *Applied Thermal Engineering*, 217: 119-163.
- Sertkaya, A. A. (2013). “Metal Köpük Isı Değiştiriciler (Metal Foam Heat Exchangers)”. *Mühendis ve Makine (Engineer and Machinery)*, 54(646): 22-26.
- Yıldırım, Ç.V. (2018). “Metalik Köpük Malzemelerin Üretim Yöntemleri, Uygulama Alanları ve Malzeme Özellikleri”. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7(2): 100-116.
- Yu, X.K., Tao, Y.B., Deng, Q.Q. (2024). “Experimental study on thermal management of batteries based on the coupling of metal foam-paraffin composite phase change materials and air cooling”. *Journal of Energy Storage*, Volume 84, Part B, 110891.