



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi

Heat pipe evacuated tubular solar collector performance improvement by applications of nanofluid

Yazar(lar) (Author(s)): Umut Önder SU¹, Adnan SÖZEN², Tayfun MENLİK³

ORCID¹: 0000-0003-2863-9132

ORCID²: 0000-0002-8373-2674

ORCID³: 0000-0003-0970-6600

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Su U. Ö., Sözen A., ve Menlik T., "Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 22(1): 245-257, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.512092

Isı Borulu Güneş Kolektörlerinde Nano Çözelti ile Performansın İyileştirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Umur Önder SU*, Adnan SÖZEN, Tayfun MENLİK

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Bölümü, ANKARA

(Geliş/Received : 20.06.2017 ; Kabul/Accepted : 05.01.2018)

ÖZ

Güneş enerjili sistemler, günümüzde çok farklı alanlarda, farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjili sistemlerin en önemli elemanı güneş kolektörleridir. Güneş kolektörleri genel olarak düzlem yüzeyle (DYGK), vakum tüplü (VTGK), ısı borulu (IBGK) ve parabolik (PGK) olmak üzere dört tipe ayrılmakla beraber en yaygın olarak DYGK kullanılmaktadır. DYGK'nin verimini etkileyen parametreler; kolektörlerde kullanılan akışkanın ısı iletkenliği, ısı kayıpları ve optik kayıplardır. DYGK'ların düşük verimlerinden dolayı son zamanlarda güneş enerjili sistemlerde VTGK ve IBGK'ların harmonizasyonu olan vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörleri (VTIBGK) kullanılmaya başlanmıştır. VTIBGK'lar DYGK'lerin termik ve optik kayıplarını minimize etmekte ve verim artmaktadır. Bu çalışmada Güneş kolektörlerinde verimi etkileyen diğer bir parametre çalışma akışkanı olup literatürde örneğine pek rastlanmamış olunan amorf yapıdaki nano partiküller kullanılarak hazırlanmış nano akışkanların performans etkisi irdelenmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda nanoakışkanları ısı sistemlerinde ve özellikle ısı borularında iyi sonuçlar verdiği ve verimlerini dikkate değer derecede artırdığı görülmüştür. VTIBK'lerde nano çözelti kullanılması ile düşük ısı direnç, yüksek ısı iletkenlik, yüksek çalışma sıcaklıkları, kısa sürede istenen sıcaklık değerlerine ulaşılması ve verimin artırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı borusu, güneş kolektörleri, nano çözelti, nano akışkan, performans iyileştirilmesi, güneş enerjisi.

Heat Pipe Evacuated Tubular Solar Collector Performance Improvement By Applications of Nanofluid

ABSTRACT

There are many different type of solar energy systems, which are being used widely for different applications. The most important element of these solar systems is solar collector. There are four main types: Flat Panel (FPSC), Evacuated Tube, Heat Pipe and Parabolic. The most popular type is FP, which was invented in 1950s and this type is predominantly used for last three decades not only in residential but also industrial areas. This is because of two main factors: low initial investment and easy usage. Efficiency of FPSCs are mainly effected by 3 parameters: working fluid thermal conductivity, heat losses and optical losses. Due to low efficiency of FPSCs, Evacuated Tubular Heat Pipe Solar Collectors (ETSCs) are now being studied to replace FPSCs. In this type of solar collectors, optical and thermal losses are minimized and performance of the system is better. In this study, ETSCs which are tested by charging Nano fluid were studied and these researches are very limited in the literature. Last studies proved that Nano fluids are increasing thermal efficiency especially in heat pipes. The outcomes from this study shows that using Nano fluids in ETSCs provides following benefits: Low thermal resistance, high thermal conductivity, higher working temperatures, acceleration in reaching working temperature and improvement in efficiency.

Keywords: Heat pipe, solar collectors, nano solution, nano fluid, performance, improvement, solar power.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İhtiyaç duyulan enerji miktarının sürekli olarak artması artan nüfus ve yükselen yaşam standartlarının doğal sonucudur. İhtiyaçların sınırsız fakat kaynakların ise sınırlı olması mevcut olan enerji kaynaklarının daha bilinçli tüketilmesi ve verimi arttırmayı zorunlu kılarak diğer taraftan alternatif enerji kaynakları arayışına girerek bir arz çeşitliliği ortaya koyulması insanlığın varlığını devam ettirmesi için kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu hem eskiyi daha verimli kullanmak için araştırmalar yapmayı hem de yeniyi keşfetme şevkini netice vermiştir.

Fosil yakıtlara alternatif olarak birçok enerji kaynağı ortaya atılsa da en bol ve ücretsiz olarak Güneş enerjisi ilk sırayı almaktadır. Güneşten bir gün içinde dünyaya yayılan enerji miktarı dünyada yıllık tüketilen enerjiden daha fazla olmakla birlikte bu enerji kaynağından % 0.02 mertebelerinde faydalanılabilmektedir [1]. Şüphesiz güneş enerjisini kullanılabilir hale getirmek için çok fazla fikirler üretilmiş ve bir kısmı hayata geçirilmişken bir kısım fikirler ise üretilmeyi ve uygulamaya geçirilmeyi beklemektedir. Bilim tarihi bize gösteriyor ki bilginin ve

*Sorumlu yazar (Corresponding Author)
e-posta : umutsu@gmail.com

bunu teknoloji halinde insanlığa faydalı hale getirme yollarının sonu yoktur. Güneş enerjisi özelinde, ülkemiz ve dünya genelinde sıcak su elde etme başta olmak üzere birçok şekilde günlük hayatta istifade yolları karşımıza çıkmaktadır [2]. Isınma dışında güneş enerjisinden doğrudan elektrik elde etmek için fotovoltaik gibi birçok alanda çalışmalar devam etmekte; var olanı daha verimli kullanma ve yenileri ise keşfedip ortaya çıkarma çabaları devam etmektedir [3]. Güneş enerji piyasası 1920'li yıllarda başlayıp 1950'li yıllara kadar gelişimini sürdürmüştür. Doğalgazın yaygınlaşması ile maliyetlerin düşmesinden dolayı bu teknolojiye yapılan yatırımlar azalmıştır [40]. Bu bağlamda ısı borulu vakumlu güneş kolektörlerinde nano çözelti kullanarak performans artırma çalışmaları hem mevcut teknolojileri daha verimli kullanma hem de yeniyi keşfetme yani nano akışkanların üretilmesi, kullanılması ve yaygınlaştırılmasına hizmet etmektedir.

2. ISI BORULARI (HEAT PIPES)

Isı borularının bilimsel gelişiminin tarihsel sürecine baktığımızda 1831 yılında Angier March Perkins tarafından yapılan hermetik boru kazanının ısı borusu fikrinin temelini oluşturduğu söylenebilir. 1944 yılında ise Gaugler patentini de aldığı ısı borusu ise günümüz ısı borusunun temel ilkelerini ortaya koymuştur. Bu tarihten sonra çeşitli türleri geliştirilmiş olmakla birlikte temel olarak şu başlıklar altında toplanabilir [4] :

- Konvansiyonel Isı Borusu
- Titreşimli Isı Borusu
- Minyatür Isı Borusu
- Döngülü Isı Borusu
- Yassı Plaka Isı Borusu

Isı borularının temel çalışma ilkeleri şu şekildedir. Boru içerisindeki çalışma akışkanı güneşten aldığı enerji ile ısınarak faz değiştirip buharlaşır. Buharlaşan çalışma akışkanı yükselerek ısı transferini gerçekleştireceği ortama doğru yükselir. Burada ısınıp diğer ortama transfer ettikten sonra yoğunlaşarak tekrar ısı borusunun alt kısmına inmekte ve bu çevrim sisteme ısı girişi oldukça devam etmektedir [1,2]. İki iç içe geçmiş cam boru arası vakumlandığından iletim ve taşınım yoluyla sistemden ısı kaybının önünde geçilmesi hedeflenmektedir.

Isı borularında akışkan seçiminde donma ve kaynama noktaları dikkate alınır. Yüksek buharlaşma gizli ısısına ve ısı iletkenliğe ve düşük viskoziteye sahip akışkan tercih edilir. Akışkanın temin kolaylığı ve maliyeti ise diğer önemli bir belirleyici unsurdur. Isı borusu uygulamalarında çalışma sıcaklığına bağlı olarak çok düşük (kriyojenik, -73 derece ye kadar), düşük (-73 derece ile 227 derece arası), orta (227 ile 427 derece) ve yüksek (428 derece ve üzeri) olarak isimlendirilir. Isı boruları kalıp imalatı ve plastik enjeksiyon, elektronik parçaların soğutulması, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemleri ile uzay ve havacılık alanlarında kullanılmaktadır. Bu nedenle verimi artırılması durumunda birçok sektöre olumlu etkisi olacaktır [4].

3. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ (SOLAR COLLECTORS)

Güneş enerjisinden faydalanmanın iki temel yolu vardır:

- Elektrik enerjisine çevirmek (PV hücre gibi)
- Isı enerjisine çevirmek (Güneş kolektörleri gibi)

Güneş kolektörleri işletme faaliyetlerinde doğa dostu olsa da hem imalat hem de bakım zamanlarında bazı olumsuz çevresel etkileri olmaktadır. Güneş enerjisinin ilk yatırım maliyeti yüksek fakat işletme maliyeti yok denecek kadar azdır. Ekonomik analiz yapılırken hayat boyu maliyetler, geri ödeme süresi, yatırımın net bugünkü değeri ve iç karlılık oranı gibi unsurlara bakılmamalıdır. Bazı yazılımlar ile güneş kolektörünün verimi ölçülmektedir: TRASY, MINSUN ve WATSUN. Hava durumu bilgisi METENORM, TMD ve TMY gibi veri tabanların alınabilmektedir. Verim ölçümü yapılırken USA ASHRAE- 93:2003 ve Avrupa ülkeleri EN-12975:2006 standartlarını kullanılmaktadır [20].

Güneş kolektörleri çok çeşitlilik arz etmektedir. Temel olarak güneşi takip eden hareketli sistemler ile sabit sistemler olarak ayrılmaktadır. Sabit olanlar kendi içinde üçe ayrılır: Düz Panel (FPC), Vakumlu Isı Borulu (ETSC) ve Parabolik Odaklı. En yaygın olarak kullanılan türü düz panel kolektörlerdir. 1950 lerde icat edilmiş olan bu tür son 30 yıldır yaygın olarak evsel ve ticari olarak kullanılmaktadır. İlk yatırım maliyeti ucuz ve kullanım kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir. Sonrasında ise ETSC gelmektedir. Tek Cidarlı ve Dewar Tüplü olmak üzere iki tip ETSC vardır. Bunlardan yaygın olarak kullanılan tek cidarlı tüpün değişik konfigürasyonları olsa da temel çalışma ilkesi hepsinde aynıdır [2,3]. Bu çalışmada bu tip kullanılacaktır. Vakumlu Isı Borulu Güneş kolektörlerinin bu türe göre oldukça üstün yönleri vardır ve aşağıda listelenmiştir [2]:

- Hem direk hem yayılan ışığı emme kabiliyeti
- Yüksek ısı iletkenliğiyle beraber, kolay kurulum ve taşıma
- Yüksek sıcaklık ihtiyacına cevap verebilir
- Silindirik tüp yapısı nedeniyle güneş ışığını gün boyunca dik olarak alma
- Vakum tüpler dolayısıyla düşük sıcaklık ve rüzgarlı ortamlarda iyi performans
- Sistem çalışmaya devam ederken kırılan-bozulan tüplerin değişimine olanak vermesi
- İletim ve taşınım ile ısı kayıplarının daha az olması
- ETSC yılın her zamanı evsel ihtiyaçlar için kullanılabilirken FPC ise genelde yaz aylarında kullanılır.
- Işığı yayma oranı daha düşüktür.
- Isı sağlama hızı daha yüksektir.
- FPC derzleme gerektirirken ETSC gerektirmez
- Çok soğuk (-18 °C) ortamlarda bile çalışmaya devam eder.

Bütün bu üstünlüklerine rağmen ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle henüz evsel ve endüstriyel kullanımı yaygınlaşmamıştır. Bununla birlikte yukarıda bahsi geçen avantajlarından dolayı araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Literatürde tasarım değişikliği ile verimi arttırmak üzerinde çalışmalar çoğunlukla olmak kaydıyla bazı araştırmacılar da çalışma akışkanını değiştirerek sistemi daha verimli hale getirmeyi önermişlerdir. Çok az sayıda çalışmada nanoakışkanın optik özelliklerinin incelenmesi gerekliliği üzerinde durulmuş ve bu alanda sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır [5].

Güneşten gelen enerji, optik kayıplar, faydalı enerji kazanımı ve ısı kayıpları (iletim, taşınım ve ışınım) olmak üzere 3 gruba ayrılabilir. ETSC kullanımında verimi arttırmak için kayıpları en aza indirmek ve faydalı enerji kazanımını en üst seviyeye çıkarmak gerekmektedir. Başka bir deyişle güneş enerjisi emilimi artırılmalı, ısı kayıpları azaltılmalı (çevreye yansıma, sıcak yüzeyin ışıması ve kollektörden çevreye taşınım) ve vakumlu ısı borusundan akışkana ısı transfer oranı artırılmalıdır. Nanoakışkan kullanımı bu son noktada devreye girmektedir.

Kırılım indeksi ışık hızının vakum içerisindeki hızının ortam hızına oranıdır. Bir çalışmada güneş enerjisi uygulamalarında kullanılan temel akışkanların optik özellikleri incelenmiştir. Güneş enerjisinin ısı taşıyan dalga boyu görünür bantta olup 300-700nm dalga

boyunda iken akışkanların emilimi en yüksek 950-1000nm de gerçekleşmektedir. Normal su kullanılarak çalışan sistemlerde max emilim %13 tür. Hedeflenen emilim oranının %90 üzerinde olması için 1metre ve üzeri derinlikler gerekli olduğu belirtilmiştir. Suya nanopartikül eklendiği durumlarda emilimin 9 katına çıktığını iddia eden çalışmalar vardır. Optik özelliklerinin etkisinin kaydedeğer olması için akışkan ile güneş ışığının doğrudan temas halinde olması gerekirken ETSC'lerde bu durum yoktur. Cama glazing uygulaması yapılarak geçirgenlik artarken aynı zamanda geri yansıma ile ısı kaybının önüne geçilmesi arzulanmaktadır. Yansımayı önleyici bir kaplama yapılır.

Kaplamanın geçirgenliği yüksek olmalı iken emme tabakasının yüksek emilimi olması gerekmektedir. Nanoakışkan kullanılması ile gelen ışığın sıvı içinde saçılması sağlanarak akışkana daha çok ısı geçişi sağlanır. Extinction katsayısı partikül çapına, derişime ve dalga boyuna bağlıdır. Güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımıyla bu katsayı artırılmış olmaktadır. Optik özellikler parça boyutu, şekli ve nano partikül ile temel akışkanın optik özelliklerine bağlıdır [20].

Isı transfer miktarını arttırmak için Fourier denkleminde yola çıkarak ısı transfer katsayısını arttırmak, sıcaklık farkını arttırmak ve alan arttırmak seçenekleri vardır. Son ikisi hem teknik hem de ekonomik sebepler ile mümkün olmadığı birçok durumda ısı transfer katsayısını arttırmak tek seçenek olarak kalmaktadır. Bu durumlarda nanoakışkan kullanımı mümkün olabilmekte ve genelde metal veya metal oksit nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılarak hazırlanan süspansiyonların hem

iletim hem de taşınım katsayıları arttırılabilmektedir [42].

Güneş kollektörlerinin verimini ölçmekte iki farklı yol vardır: steady state (kararlı hal) ve quasi dynamic (yarı dengeli). Kararlı hal yönteminde güneş enerjisi yayılımı, ortam sıcaklığı ve kollektör giriş sıcaklığı sabit kabul edilirken yarı dengeli halde bunlar değişkendir. Isıl performans kollektör yüzeyine gelen güneş enerjisi, çevre sıcaklığı, emme tabakası ve bunun optik ve termal özellikleri, geçirgenlik ve emme geliş açısına, kullanılan akışkan türüne, debiye, özgül ısısına ve ısı kaybına bağlıdır [2].

Isı borulu güneş kollektörlerinin tercih sebeplerini ve türlerini ele alan bir çalışmada matematiksel modelleme alanında yapılan araştırmalar ele alınmıştır. Bununla birlikte evsel ve endüstriyel uygulamalarından bahsedilerek git gide ETSC'lerin yaygınlaştığından bahsedilmiştir. ETSC ile alakalı zorluklar ilk yatırım maliyeti, kırılma, kar giderme ve nadiren de olsa yüksek ısınma olarak ifade edilmiştir. Maliyet analizi yapılarak geri ödeme sürelerinin 2 yıldan az olduğu iddia edilmiştir. Tasarımsal değişikliklere yönelik çalışmalara çokça rastlanırken akışkan değiştirmeye yönelik fazla sayıda çalışmanın yapılmadığından bahsedilmiş ve bu alanda yapılan çalışmaların çoğunun FPC alanında olup ETSC alanında çok az sayıda çalışma olduğu belirtilmiştir.

Enerji dengesine göre güneş ışınları ile gelen enerji, faydalı enerji, ısı kayıp ve optik kayıp enerjilerinin toplamına eşittir. Kollektörde ısı enerjisi kaybı iletim, taşınım ve yayılımla olmaktadır. Güneş kollektörü performans ölçüm yöntemi Hotteland Woertz tarafından ortaya konmuş ve ASHRAE tarafından geliştirilmiştir. Verimi yükseltmek için bu çalışmalarda ortaya konan formüllerden hareketle aşağıdakiler gereklidir:

- Güneş enerjisi emilimini arttırmak
- Çalışma akışkanına ve son kullanıcıya ısı transferini arttırmak
- Isı kayıplarını azaltmak

Güneş kollektörlerinin geçirgenlik, yansıma ve emilim özellikleri gelen enerjiye, ortam kalınlığına, kırılma indeksine ve malzemenin extinction katsayısına (K) bağlıdır. Cam en yaygın koruyucu malzeme olarak kullanılmaktadır. Kollektörün emme plakası seçilirken emme yüksek (α) ve uzun dalga boyu emisyon değeri (ϵ) düşük olmalıdır [20].

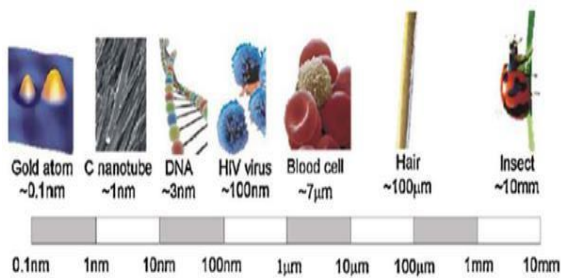
4. NANO AKIŞKANLAR (NANO FLUIDS)

Nanoakışkan kullanma fikri ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından gündeme getirilmiştir [1]. O zamandan bu zamana nanoakışkanlara ilgi artarak devam etmektedir. Nano boyutta ve ısı iletkenlik katsayısı suya göre çok yüksek olan parçaların su veya diğer çalışma akışkanları ile hazırlanmış olan karışımlarına nanoakışkan adı verilmektedir [6]. Nanoakışkan hazırlamakta kullanılacak olan nano partiküllerin 100nm boyutundan küçük olması literatürde tavsiye edilmektedir. Nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak çok sayıda bilimsel çalışma son 20

yılda yapılmıştır ve gelecek vadeden bir alan olması sebebiyle de ilgi artarak devam etmektedir. Yapılan hemen hemen bütün çalışmalar ısı performansını arttırdığını fakat temel akışkana, seçilen nano malzemeye, derişime, çalışma sıcaklığına, yüzey aktifleştirici kullanıp kullanılmamasına ve kullanılmışsa türüne ve derişimine gibi faktörlere göre farklı oranlarda performans iyileştirmesi sergilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte uzun dönem stabilite sorunu, nanoakışkan elde etme zorluğu ve maliyeti, viskozite artışı ve dolayısıyla pompa gerektiren sistemlerde güç talebi artışı ve nano malzemelerin toksik olabileceği gibi hususlar da aşılması gereken sorunlar olarak bildirilmektedir [1].

Gerek imalat ve gerek kullanım esnasında gerekli önlemleri aldıktan sonra bir çok toksik maddeden güvenilir bir şekilde halihazırda olduğu gibi nanoakışkanlardan da faydalanılması mümkündür. Nanoakışkan kullanımında hedeflenen ise emilen ısı miktarını ve hızını arttırmakla birlikte ısı veriminin artırılmasıdır. Nanoakışkanlar genelde iki-aşama yöntemi kullanılarak hazırlanmaktadır. Bu yöntemde önce istenen nano partiküller elde edilir. Sonra temel akışkan içerisine stabilitesini ve homojenliğini koruyacak şekilde dağılması sağlanır. Tek aşama (one- step) metodu ise nano partiküllerin hazırlanması ve akışkanın içine dağılımı bir aşamada gerçekleştirilir. Değişik yöntemler ile bu mümkün olmaktadır: Direk buharlaşma, VEROS tekniği, lazer ablyasyon metodu (Alimünyum nano akışkanlar için kullanılır) ve saf kimyasal sentez (bakır-EG için kullanılır) gibi tek aşama yöntemleri vardır [6].

Nanoakışkanlar çok çeşitli olabilmektedir: metaller, metaloksitler, yarı-iletkenler, nitritler, karbon nanotüpler, grafen gibi çok farklı nanoakışkanlar hazırlanarak araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Araştırmaları deneysel, teorik ve numerik olarak bütün alanlarda devam etmektedir. Nanoakışkanların karakterizasyonu, termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve genel geçer bir model/formül arayışları ve çalışmalarını sonucunda henüz net bir çözüm ortaya konamamıştır [1,5,6].



Şekil 1. Nano Boyut (Nano scale) [15]

Nanoakışkanların ısı iletim katsayısı, viskozite, taşınım katsayısı, özağırlık, özgül ısı ve basınç düşümü parametreleri ile alakalı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Özellikle ısı iletkenlik üzerinde partikül derişimi, sıcaklık, boyut, şekil, baz akışkan ve pH etkileri derinlemesine incelenmiştir. Bazı çalışmalarda surfactant ismi verilen yüzey

aktifleştiricisi kullanılarak nano partikül eklenmesinden kaynaklı ortaya çıkabilecek sorunlar giderilmeye çalışılmıştır. Çünkü nano boyutta olan partiküllerin çökmesi, bir araya gelmesi veya topaklanması söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte benzer şekilde viskozite de meydana gelen artışın önlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Az sayıda da olsa hibrit nano partikül kullanımı konusunda araştırmalar da yapılmıştır [6,7].

Nanoakışkanların özellikleri temel olarak şu 5 parametreye dayanır: Termo akışkanlar, ısı transferi, partiküller, koloit ve lubrikasyon. Termo akışkan özellikleri sıcaklık, viskozite, yoğunluk, özgül ısı ve entalpi değerlerini kapsar. Isı transferi ise ısı iletim, ısı kapasitesi, Prandtl sayısı ve basınç düşümünü kapsar. Partikül ise büyüklük, şekil, BET (yüzey alanı analizi) ve kristal faz olarak alt başlıklara ayrılmaktadır. Koloit özellikler ise karışımın stabilitesi, zeta potansiyeli ve pH değerlerinden oluşur. Lubrikasyon açısından ise viskozite, viskozite indeksi, sürtünme katsayısı, aşınma hızı ve üst basınç değerlerine bakmak gerekmektedir [6].

Stoke Kanuna göre nanopartikül boyutu küçüldükçe çökme durumu yavaşlamakta ve stabilite artmaktadır. Brownian hareketine göre kritik nanopartikül boyutuna yaklaşıldığında sıfır çökme olması beklenmektedir. Tek aşama yöntemiyle üretilen nanoakışkanların stabilitesi yüksek ve topaklanma riski azdır. İki aşama yöntemiyle üretilenlerde ise yüzey enerjisi yüksek olan nanopartiküllerin çökme riski vardır. Stabiliteyi ölçmek için UV-vis spektrometre, zeta potansiyeli, TEM ve SEM gibi yöntemler kullanılmaktadır [20].

Nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak çok sayıda bilimsel çalışma son 20 yılda yapılmıştır ve gelecek vadeden bir alan olması sebebiyle de ilgi artarak devam etmektedir. Yapılan hemen hemen bütün çalışmalar ısı performansını arttırdığını fakat temel akışkana, seçilen nano malzemeye, derişime, çalışma sıcaklığına, yüzey aktifleştirici kullanıp kullanılmamasına ve kullanılmışsa türüne ve derişimine gibi faktörlere göre farklı oranlarda performans iyileştirmesi sergilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte uzun dönem stabilite sorunu, nanoakışkan elde etme zorluğu ve maliyeti, viskozite artışı ve dolayısıyla pompa gerektiren sistemlerde güç talebi artışı ve nano malzemelerin toksik olabileceği gibi hususlar da aşılması gereken sorunlar olarak bildirilmektedir [1].

Nanoakışkanlardaki nanopartiküllerin bir araya gelme ve çökme eğilimi vardır. Bunların giderilmesi ve viskozitenin düşürülmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte ETSC' lerde farklı nanoakışkanların kullanılması ve literatürde hiç rastlanmayan hibrit nano partiküller kullanılarak akışkan kullanımı alanında araştırmalar yapılabilir [3].

Nanoakışkanın sentezlenmesi ve stabilitesinin korunması önem arz etmektedir. Alan hacim oranı yüksek olduğu için yüksek yüzey gerilmesi sonucunda biraraya gelme ve topaklanma sorunu ortaya çıkabilir. Çökme, akışkanların tıkanma ve dolayısıyla ısı iletkenliğinin düşmesine yol açabilir. Yüzey aktifleştirici (surfactant) eklenerek

sorun giderilebilir ama köpük oluşma ihtimali vardır. Kovalent olmayan işlevselleştirme ile nano partiküllerin akışkan içinde dağılımı sağlanır. Nano akışkanların yüksek maliyeti, stabilite sorunu ve viskozite artışı nedeniyle optimum nano partikül derişim seviyesi belirlenmeli ve bunu yaparken ısıl iletkenlik artışı ile viskozite artışı hesaba katılmalıdır [10].

Nanoakışkan olarak hazırlanan çözeltilerde yaygın olarak şunlar kullanılır: Alüminyum, Titanyum Dioksit, Karbon nanotüpler, bakır vb. farklı şekillerde olabilir (küresel, silindirik vb). Nanoakışkanların ısıl özellikleri arttırdığı birçok çalışma ile doğrulanmıştır. Optik özelliklere etkisi de incelenmeye başlamıştır. Su güneşten yarılan enerjinin

%13'ünü emebilmektedir. Optik özelliklerde iyileşme sağlanarak bu oran kayda değer artırılabilir. Isıl özelliklerin iyileşmesi ile de daha çok ısı transfer edilebilir. Metal ve metal olmayan nano boyutta parçalar üretmek mümkün olup temel olarak fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki üretim yöntemi vardır. Güneş kollektörlerinde karbon nanotüpler, alüminyum, titanyum dioksit ve gümüş yaygın olarak kullanılmaktadır. Nano akışkanlar bir veya iki aşama metodları ile üretilmektedir. İki aşama yöntemde önceden üretilmiş olan nano boyutta maddeler akışkan içerisine ultrasonik disrupter veya yüksek basınç homojenizer ile süspansiyon hazırlanmaktadır. Bu yöntem tek dezavantajı zamanla çökme ve bir araya gelme olayıdır. Bunun sebepleri arasında partiküllerin yüksek yüzey enerjisi, Van der Waals kuvvetleri ve yer çekimi vardır. Bu sorunu aşmak adına stabilizasyon ajanı veya surfactant kullanarak partiküller arasında itme kuvvetleri ortaya çıkarmak gerekir. Surfactant uzun organik molekül olup su ve yağ seven bir yapıya sahiptir. Ayrıca surfactant kullanımı partiküllerin yüzey aktivitelerini ve pH seviyesini değiştirmekle beraber yüzey enerjisini azaltmakta da etkilidir. Surfactant aracılığı ile hidrofilik-hidrofobik karakterler arasında geçiş sağlanması mümkündür. Yaygın olarak kullanılan surfaktantlar: SDBS, Gemini, gum Arabic, CTAB, chitosan ve Triton X-100 [5].

Nanoakışkan hazırlanmasında katı parçaların bir araya gelip daha büyük formlar oluşturması istenmeyen bir durumdur. Özel ihtiyaçlara cevap verecek özel akışkanlar geliştirilmektedir. Nanoakışkanların stabil olabilmesi için 3 yöntem önerilmiştir:

- Karışımın pH değerini değiştirmek
- Yüzey aktivatörleri veya dispersant kullanımı
- Ultrasonik titreşim kullanımı

Yüksek zeta potansiyeli olan (pozitif veya negatif) daha iyi bir stabilite olduğu manasına gelmektedir [6].

Isı transfer alanında nanoakışkan kullanımına dair birçok çalışma yapılmıştır. Nanopartikül olarak saf metal (Au, Ag, Cu, Fe), metaloksitler (CuO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, Fe₃O₄), karbitler (SiC, TiC), nitritler (AlN, SiN) vedeğişik tip karbonlar (elmas, grafit, tek/çok duvarlı karbon nanotüpler) kullanılmıştır. Temel akışkan olarak da su, etilen glikol ve motor yağı kullanılmıştır. Bugüne

kadar yapılan çalışmalarda ısı iletim katsayısı, zorlanmış taşınım ve kaynama ısı transferi durumları incelenmiştir. Isı transferinde artış görünen durumlar açıklanırken Brownian hareketi, arayüz etkisi, enerji taşıyıcıların balistik etkisi ve termoforez üzerinde durulmuştur [18]. Sınırlı sayıda Bor içeren nanoakışkan hazırlanarak özellikleri incelenmiştir. Bunlardan birinde yüzey aktifleştirici kullanımının BN nanoakışkan özelliklerini nasıl etkilediği incelenmektedir. % 0.001 ile % 0.1 hacim fraksiyonları yüzey aktifleştirici kullanarak ve kullanmayarak 2 saat boyunca sonikasyona tabi tutulmuştur. Yüzey aktifleştiricisi kullanılmayan durumda (zeta potansiyeli ölçülerek) daha stabil olduğu sonucuna (her ne kadar literatürde diğer nanoakışkanlarda durum tam tersi olsa da) varılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kullanılmadığı durumda izoelektrik noktası olan 9.25 ten uzak -40mV ve üzeri değerler elde edilmiştir. Bu da karışımın stabil olduğunu göstermektedir. Derişim % 0.1 e kadar çıktığında pH değeri % 8.69 artmış yüzey gerilmesi % 7.2 düşmüş ve elektrik iletkenliği 1.1032 mS/cm artmıştır. Derişim arttıkça ısıl iletkenlik katsayısı sürekli artmıştır. Derişim % 0.1 e kadar çıktığında Prandtl sayısı % 13.95 düşmüştür. Isı transfer katsayısı derişim % 0.00373 oranında arttığına % 7.09 oranında artmıştır [12].

Diğer bir çalışmada ise Hekzagonal Bor Nitrit (hBN) yüksek stabilitede yalıtkan seramik malzeme olup ısıl iletkenliği ve kimyasal inert olması nedeniyle tercih edilmektedir. Hekzagonal kristal yapısı nedeniyle BN ler arasında en yumuşak formdur. Bu çalışmada nBN nanoakışkan hazırlanırken saf su, saf etilen glikol ve % 50 su-EG karışımı kullanılarak hazırlanması, stabilitesi ve termofiziksel özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Ortalama boyutu 70nm olan stabil hBN nanoakışkanlar SDS ve PVP yüzey aktifleştiricileri kullanarak ve ltrasonikasyona tabi tutularak hazırlanmıştır. Yüzey aktifleştiricisi kullanımının termofiziksel özelliklere etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Stabilite ölçümü için zeta potansiyelinden yararlanılmıştır. Morfoloji karakterizasyonu için SEM ve TEM kullanılmıştır. %0.03 ile %3 arasında derişimlerin viskozite dahil olmak üzere etkileri deneysel olarak incelenmiştir. % 1 civarında BN kullanım durumunda 10 güne kadar stabilite gözlemlenmiştir. Daha uzun stabilite süreleri için yüzey aktifleştiricilerinde faydalanılabilir. hBN- su nanoakışkanında STEM görüntüsüne göre hem polidispersite hem de yerel bir araya gelmeler gözlemlenmiş ve bunların ısı iletimine olumlu etki yaptığı düşünülmemektedir. Derişim arttıkça ısıl iletkenlik ve viskozite artmaktadır. % 3 hBN içeren nanoakışkan için ısıl iletkenlik % 26 seviyelerine kadar artarken bu durumda viskozite artışı % 22 civarında ölçülmüştür [13].

Yapılan başka bir çalışmada ise etilen glikol temel akışkan kullanılarak BN nanopartiküller ile nanoakışkan hazırlanmıştır. BN/EG nanoakışkanların ısıl iletkenlikleri transient hot wire metodu ile ölçülmüş ve 2 olağandışı durum gözlemlenmiştir. Birincisi düşük derişimlerde daha yüksek ısıl iletkenlik oluşması diğeri ise 140nm

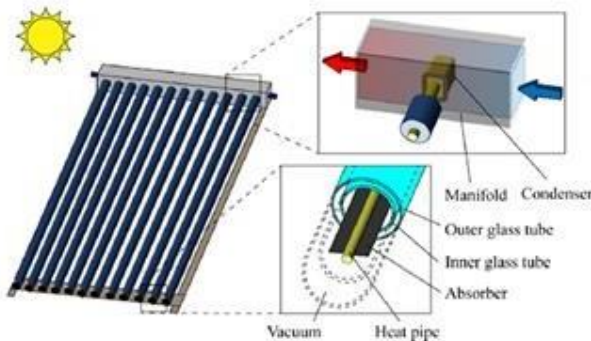
nanopartikül kullanılan akışkanın 70 nm nano-akışkana göre ısı iletkenlik iyileşmesinin daha fazla olmasıdır [16].

Sınırlı sayıda Bor içeren nano partiküller ile hazırlanan nano akışkanlarda literatürdeki diğer nano partiküllere göre farklı sonuçlar ve birbiriyle çelişen hususlar yer almaktadır. Bu da konunun daha çok çalışılarak açıklığa kavuşturulması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Araştırmacılara nano akışkanları gerek sentezlerken gerek ise kullanırken temkinli davranmaları tavsiye edilmektedir. Çünkü, Nanoteknoloji yeni yeni gelişen bir alan olması sebebiyle iş güvenliği ve sağlık açısından tam bir değerlendirme henüz ortaya konamamıştır. Bu nedenle zararsız olduğu ispatlanana kadar tedbirli davranılması gerekir. Nanopartiküllerin vücuda girmesinin üç yolu vardır: Solunum- akciğer sistemi; Emme- deri sistemi ve Yemek- sindirim sistemi. Hangi limitlerde olumsuz etkiler ve insan sağlığını tehdit eder hale geldiği kesin olarak bilinmemekle birlikte ciddi rahatsızlıklara yol açabileceği düşünülmektedir [15].

5. 5. ISI BORULU VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE NANO AKIŞKAN KULLANIMI (HEAT PIPE EVACUATED TUBULAR SOLAR COLLECTOR: APPLICATIONS OF NANOFLUID)

Isı borulu güneş kollektörlerinde nanoakışkan uygulamalarının incelendiği bir çalışmada her uygulamada verimin arttığı gözlemlenmiştir. Özel tasarlanmış bir açık termosifon uygulamasında de-iyonize su ve su bazlı CuO (%1.2 derişim) nanoakışkan kullanarak suya göre % 30 ısı transfer katsayısının yükseldiğini ortaya koymuşlardır. Başka bir çalışmada üç fitilsiz ısı borusundan oluşan iki tane aynı özellikte kollektör imal ederek deneyler yapmışlardır. Birinde normal su diğerinde ise CNT nanoakışkan kullanılarak yapılan çalışmada CNT olan sistem hep daha iyi sonuç vermiştir. Diğer bir çalışmada ise TiO₂ – su nanoakışkan kullanılan sistem %73 verimli iken sadece su kullanılan sistem % 58 verimli bulunmuştur [1].



Şekil 2. ETSC çalışma prensibi (Operating principal of ETSC) [3]

Uzun zamandır FPC' ler için verim iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Nanoakışkanlar çalışılırken katkı

maddesi olarak genelde Triton X-100 maddesi kullanılmıştır. pH ayarı yapılması gerektiğinde HCl ve NaOH dan faydalanılmıştır. Katkı maddesi (surfactant) kullanmanın temel amacı çökelmeyi engellemek ve partiküllerin biraraya gelmesini engellemektir. Bazı araştırmalar sonucunda nanoakışkan derişiminde bir optimum oran olduğu bu nedenle bu miktarın üzerine çıkılmaması gerektiği belirtilmiştir: hem maliyeti düşürmek hem de stabilite sorunlarını minimize etmek için. Bu tip kollektörlerde ısı borusu kullanımı çok nadiren incelenmiş ve bu alanda daha çok çalışmaya ihtiyaç vardır. Deneysel çalışmaların yanında teorik çalışmalar da yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmalar deneysel olanlara göre daha az maliyetli olup sonuçlara ulaşmak açısından daha kısa bir yoldur. Singh ve arkadaşları tarafından nanoakışkan kullanımında entropi üretimi ilk kez incelenmiş ve entropi üretiminde artışa neden olduğu iddia edilmiştir. Bununla beraber bazı araştırmacıların tersinin gerçekleştiği yönünde iddiaları da vardır. Bunlardan birinde Alim ve arkadaşları CuO nanoakışkan kullanarak entropi üretiminin % 4.34 azaldığını ve verimin % 22.15 arttığını iddia etmişlerdir. Gerekli pompa gücünde ise % 1.58lik bir artış rapor edilmiştir. Aynı zamanda ekserji alanında da çalışanlar olmuştur [3]. Açık termosifonun ısı performansının ölçülmesinde nanoakışkanlar yüksek sıcaklık vakumlu boru güneş kollektörlerinde kullanılmıştır. Deney kapalı mekanda deiyonize su ve su bazlı CuO nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada doldurma oranı, ana akışkan türü, nanopartikül oranı ve işletme sıcaklığı üzerinde durulmuştur. % 1.2 nanopartikül oranı ile optimum ısı transfer iyileştirilmesi yapılmıştır. Otanicar ve arkadaşları nanoakışkan kullanılan direk emilim güneş kollektörlerinin verimini araştırmışlardır. 3x5 cm² panel ve kanal derinliği 140 mikrometre tercih edilmiştir. Kollektörü doldurmak için gerekli nanoakışkan miktarını azaltmak için mikrokanal tercih edilmiştir. Karbon nanotüpler, grafit ve gümüş bazlı nanoakışkanlar test edilmiştir. Nanopartikül eklenmesi ile başta hızlı bir artış olmuş ve nanopartikül arttıkça bu artış devam ederken bir noktadan sonra düşmeye başlamıştır. ASHRAE Standart 86-93 Yousefi ve arkadaşları tarafından kullanılarak düz güneş kollektörlerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Emme alanı 1.51m², 1 ile 3 lt/dk debi, Al₂O₃ nanopartikül oranı %0.2 ile 0.4 ve surfactant ilavesi ile çalışma yapılmıştır. Anlık verim değerleri ışınım yayılımı, ortam sıcaklığı ve giriş akışkan sıcaklığının değişik kombinasyonları için kaydedilmiştir. Triton X-100 eklenmesi performansı arttırmıştır. % 0.2 Al₂O₃ derişimi için % 28.3 verim artışı kaydedilmiştir. pH değeri nanoakışkanların itme kuvvetlerini belirliyor. İzoelektrik noktasından uzaklaştıkça daha büyük itme kuvvetleri ortaya çıkıyor. Yousefi ve arkadaşları bu noktayı hesaba katarak 3.5, 6.5 ve 9.5 değerleri MWCNT ile deney yapmışlar. pH ayarı için Hidroklorik asit ve Sodyum Hidroksit kullanmışlar. İzoelektrik noktadan uzaklaştıkça verim artmıştır. Başka bir çalışmada surfactant eklenmesi ile verimin arttığını ortaya koymuştur. Bu alanda yapılan bir çalışma sedimentasyon problemini aş-

mak için akışkan hızını kontrol etmenin işe yaradığını ortaya koymuş ve böylelikle birikme (deposition) sorunu da azaltılabilmektedir. Başka bir çalışma solar kollektörün açık termosifon ile birleştirilmesiyle performans artırımı gerçekleştirilmiştir. Başka bir çalışmada bakır nanopartiküller eklenerek % 24 bir iyileştirme sağlanmıştır. Cho-ugule ve arkadaşları fitilsiz ısı borulu güneş kollektörlerinde su ve karbon nanotüp nanoakışkan kullanılarak farklı açılarda ve derişimlerde deneyler yapmışlardır. En iyi performans için optimum CNT miktarını belirlemiştirler. Bazı araştırmalarda optimum debi belirlenmesi de yapılmıştır. Bir başka araştırmada Brownian motion etkisinin hareketli akışkanlarda statik olanlara göre daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur [5].

Bir çalışmada 16, 22 ve 28 mm çapında ısı borulu vakumlu tüp güneş kollektörler imal edilerek optimum boru çapı belirlenmesi amaçlanmıştır. Akışkan olarak etanol kullanılmıştır. Her bir ısı borusu içine ısı borusunun toplam hacminin 1/3 oranında akışkan konmuştur. Boru içinde kalan hava vakumlanmıştır. Deponun ısı yalıtımı yapıldıktan sonra ısı borusunun buharlaştırıcı ve adyabatik kısmı (depo dışında kalan) vakum tüp içerisinde yerleştirilmiştir. Eş merkezli konumlandırmak için o-ring kullanılmıştır. Deneylerde çevre hava sıcaklığı, hava dağıtım kollektörü giriş sıcaklığı, her bir kollektör için çıkış sıcaklığı ve o güne ait güneş ışınımı şiddeti ölçülmüştür. Sonuç olarak yeterli miktarda ısı oluşmadığı durumlarda buharlaşma gerçekleşmediğinden sistemin çalışmadığı, akışkanın yeterince ısı atamayıp sıvı fazına dönememe durumunun oluşmaması için ısının transfer edileceği depo kısmına dikkat edilmesi gerektiği ve bu yoğunlaştırıcı kısmında daha hızlı ısı transferi için kanatçıklar gibi tasarimsal düzenlemelere gidilebileceği belirtilmiştir [8].

Isı borulu kollektörlerin incelendiği bir çalışmada ayrı ve birleşik ısı borularının verimleri deneysel olarak ölçülerek mukayese edilmiştir. Her iki kollektörde de ısı borusu olarak bakır boru ve çalışma akışkanı olarak R-134a kullanılmıştır. Boru çapı 15mm, sıvı dönüş borusunun çapı 12mm ve depo içindeki yoğunlaşma borusunun çapı 25 mmdir. Isı boruları arasındaki mesafe de 7.2 mmdir. Saydam örtü olarak 3mm kalınlığında cam kullanılmıştır. Kollektörlerin yan ve alt kısımlarından meydana gelen ısı kayıplarını önlemek için strafor malzeme ile yalıtım yapılmıştır. Depo malzemesi olarak 2mm kalınlığında sac kullanılmıştır. Depolardan çevreye ısı kayıplarını önlemek için her iki su deposu yalıtım malzemesi termoflex ile yalıtılmıştır. Sıcaklık ölçümü J tipi termokupl malzeme ile 12 kanallı Elimko- 6000 tipi ekipman kullanılmıştır. Güneş radyasyon ölçümünde solarimetre cihazı kullanılmıştır. Sonuç olarak ayrı olan sistemin ısı verimi % 48.5 iken birleşik olan sistemin verimi % 57.6 çıkmıştır. Bunun sebebi olarak birleşik sistemde ısı transferinin daha iyi gerçekleştiği yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı kısımlardaki birliğin transfer hızını arttırdığı düşünülmektedir [9].

Bir çalışmada ilk defa farklı olarak yatay bir tank içerisine spinal boru yerleştirmek suretiyle Al₂O₃ / saf su nano akışkanı kullanılarak 18 adet borosilikat cam va-

kumlu tüp 100 lt olan yatay tanka bağlanmıştır. ETSC-lerde Al₂O₃ / saf su nano akışkanı kullanılmıştır. Hacim fraksiyonları % 0.03 ve % 0.06, nanopartikül boyutu 40nm olmak üzere yüzey aktifleştiricisi olarak Triton X-100 kullanılmıştır. Spinal ısı değiştiricisi içerisindeki debi 20 lt/saat, 40 lt/saat ve 60 lt/saat olacak şekilde çalışılmıştır. En yüksek verim olan % 57.63 verime, % 0.06 hacim fraksiyonu ve kütleli debi olarak 60 lt/saat koşullarında gerçekleşmiştir. Al₂O₃ Nanoakışkan Hazırlanması için iki aşamalı yöntem kullanılmıştır. Nanopartiküllerin karakterizasyonu için XRD ve FESEM kullanılmıştır. X-ray Diffraction 1 o/dk dan 5o – 70o e kadar 40kV/40mA koşullarında analiz yapılmıştır. Kullanılan malzeme doğrulanmıştır. Kollektör verimi şu unsurlara bağlıdır: Kollektörün tasarımı, güneş enerjisi etkileri (ışınım şiddeti, yayılma oranı ve geliş açısı), ortam koşulları (ortam sıcaklığı, rüzgar durumu ve hava sıcaklığı) ve işletme koşulları (akışkanın giriş sıcaklığı, akışkanın debisi ve ısı özellikleri, kollektörün eğimi ve yerleşimi). Çözeltinin stabilitesini koruması iyonik özelliklerine bağlıdır. İyonik özellikler arttıkça çökme ihtimali ve oranı artmaktadır. Nanopartiküllerin hacim fraksiyonu arttıkça akışkanın ısı kapasitesi düşmüş fakat ısı transfer katsayısı artmıştır [11].

Isı borusu içindeki akışkanın verime, çalışma sıcaklığına ve toplam ısı katsayısına doğrudan etkisi vardır. Akışkan olarak su, etanol, metanol veya bunların karışımlarının kullanıldığı birçok çalışma olmuştur. Su-etanol karışımının iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Vakumlu ısı borulu güneş kollektörlerinde (ETSC) sistem performansının iyi olması için vakumun muhafaza edilmesi ve sızıntı olmaması önemlidir. Düz panellerden farklı olarak ETSC gün içinde saate göre performans değişimi pek olmamıştır ve yüksek çıkış sıcaklıkları elde edilmiştir [17].

Isı borularındaki nanoakışkan çalışmaları üçe ayrılabilir:

- 1) Kılcal kuvvetlerin etkili olduğu ve taşınımın buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kısmında hakim olduğu durumlar: Mikro-oluk, ağ (meshes) ve sinterlenmiş metal ısı boruları
- 2) Isı gradyanının olduğu basınç dalgalarına yol açtığı ve itme kuvvetlerinin etkili olduğu durumlar: Titreşimli ısı boruları
- 3) İki fazlı termosifon durumunda ise havuz kaynama karakteristiğine benzer bir yapıda ısı transferi gerçekleştiği durumlar: normal ısı borusu

Bu gözden geçirilen çalışmaların ışığında nanoakışkan hazırlanırken kullanım süresi, stabilite, güvenilirlik, ekonomiklik ve kullanım yeri-maksadına uygun seçim büyük önem arz etmektedir. Bu alanda daha çok çalışmaya ihtiyaç olduğu ve özellikle çalışma sıcaklığı etkilerinin iyice araştırılması tavsiye edilmektedir [18].

Termosifon tipte ısı borularında film buharlaşma ve havuz kaynama ısı transferinde etkili olmaktadır. Yoğunlaştırıcıda sıvılaştıran akışkan yerçekimi ile buharlaştırıcı kısmına dönmektedir. Nanopartiküller çekirdeklenme bölgeleri ve buhar balon bombardımanı

oluşmasını sağlayarak ısı transferini arttırmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda ısı direnç düşüşü en çok %81 (gümüş nanopartikül ve su temel akışkan) ve %60 (CuO nanopartikül ve su temel akışkan) durumlarında rapor edilmiştir. Isıl iyileştirme sebepleri arasında azalan yüzey gerilimi ile ıslanabilirliğin artması ve çekirdek kaynama artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Derişime bağlı olarak bir optimum dolum oranı olduğu düşünülmektedir. Bir kısım çalışmalarda nanoakışkan kullanılmasına bağlı olarak temel akışkana göre daha kötü sonuçlar rapor edilmiştir. Sebep olarak da buharlaştırıcı kısımda nanopartikül birikmesi su buharını azaltmış ve toplam ısı direnç artması rapor edilmiştir. Bazı çalışmalarda ise optimal derişimden uzaklaşılması ve çevrimin sürekli olarak devam etmemesinden kaynaklı olarak çökme olması ısı direnci arttırmakta ve ısı verimi düşürmekte olduğu rapor edilmiştir. Hatta nanopartiküllerin bir araya gelerek büyük partiküllere dönüşmesinin de olumsuz etkilerinden bahsedilmiştir. Isı borularında nanoakışkan kullanımına dair yapılan 28 çalışma gözden geçirilmiştir. Isı borularında nanoakışkan kullanımı ile sınırlı sayıda analitik ve sayısal modelleme çalışması olduğu tespit edilmiştir [19]. MgO/su nanoakışkanın iki fazlı kapalı sistem termosifon tipi ısı borusu performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Triton-X 100 surfaktant olarak kullanılmıştır. 1/3 oranında doldurulan ısı borusu üç farklı ısı (200-300- 400 W) girişi durumunda ve üç farklı debide soğutma suyu (5, 7.5 ve 10 g/s) ile deneyler gerçekleştirilmiştir. İyileştirme oranı en yüksek % 26 olarak 200W ısı girişi ve 7.5 g/s soğutma suyu kullanıldığı durumda gerçekleşmiştir. Cidar sıcaklıkları suda yüksek MgO da ise daha düşük olmuştur. Ayrıca buharlaştırıcı- yoğurturucu arasında sıcaklık farkı da MgO da azalmıştır. Bu da ısı direncin MgO nanoakışkanında daha düşük ve performansın arttığını göstermektedir. Al₂O₃ e göre ise ısı borusu performans artışı ortalama olarak %6.6 ile 11.5 bandında olmuştur [21].

Duman külü ve Al₂O₃ nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmıştır. İki fazlı kapalı termosifon ısı borusunda bu akışkanların ısı performansına etkisi incelenmiştir. Triton X-100, surfaktant olarak kullanılmıştır. Ağırlıkça % 2 oranında nanopartiküller ve % 0.2 oranında surfaktant ile nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Isı borusu dolun oranı 1/3 olup 200,300 ve 400 W ısı girişi; 5,7.5 ve 10 g/s soğutma suyu çevrimi koşullarında deney 3 akışkan için gerçekleştirilmiştir. Isıl direnç düşümü olarak 400 W, 5 g/s ve duman külü nanoakışkan durumunda % 30.1 olarak ölçülmüştür [22].

DARS 1928 yılında icat edilmiştir. Bu sistem ev soğutma, karavan, kamp, ofis ve otel gibi yerlerde sessiz çalışması nedeniyle tercih edilmektedir. Veriminin düşük olması nedeniyle kullanım alanı ve yaygınlığı sınırlı kalmıştır. Nanoakışkan kullanılan sistemde 0 dereceye inmek 20 dk sürerken diğer sistemde 55 dk sürmüştür. Daha çok ısı emme kapasitesinin soğutma etkisi büyük olmasa da ısı verim artışı kayda değer olmuştur. REFP-ROP yazılımından faydalanılarak COP değerleri hesaplanmıştır. Nanoakışkan kullanılan sistemin COP değeri

0.295-0.225 arasında iken diğerinin 0.280-0.213 olup buradaki fark ortalaması % 51 olup iyileştirme oranı yüksektir [23].

Isı borulu güneş kolektörlerinde nanoakışkan kullanımıyla ilgili olarak sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan birinde su ve 30 nm boyutunda SiO₂ kullanılarak iki aşamalı yöntem ile microfluidizer prosesine tabi tutularak nanoakışkan elde edilmiştir. Daha sonra parça boyut analizi karakterize edilmiştir. Isıl iletkenlik ve geçirgenlik ölçümleri yapılmıştır. Kolektörler iyi güneş alacak şekilde yerleştirilerek solar radyasyon miktarı hesaplanmıştır. Isıl çiftler ısı borusu boyunca yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kolektör tüpün içindeki ısı dağılımı ve hız değişimi modellenmesi için ANSYS ve FLUENT yazılımları kullanılmıştır. Partikül boyut analizine göre dağılım uniform olmuş ve topaklanma olmamıştır. Mikro taşınım etkisiyle ısı iletim iyileşmiştir. En çok iyileşme % 5 derişime sahip akışkanda vuku bulmuştur. Parçacıkların birbiriyle çarpışması ve enerji transferi gerçekleşmesi bunun temele sebebi olarak görülmektedir. 20 gün sonra ölçümler tekrar yapıldığında hala % 1 e göre yüksek değerler elde edilirken ; %3 ve % 5 taze karışımlara göre düşük değerler ölçülmüştür. Bu da zaman içinde topaklanma olduğunu göstermektedir. Ayrıca 500-1400 nm arasında geçirgenlik ölçümü yapılmıştır. Artan dalga boyu ile geçirgenlik artmıştır. % 1 derişimin geçirgenliği en üst düzeydedir: %91.42. Sayısal simülasyon sonucuna göre alttan üste doğru sıcaklık artmaktadır. Suya göre en yüksek sıcaklık farkı 4.2 derece olmuştur. Nanoakışkan kullanılan durum için sıcaklık alt tarafta 19.85 derece iken üst tarafta 51.26 olarak hesaplanmıştır. Nanopartikül eklenmesi sadece ısı iletkenliği arttırmamış aynı zamanda ısı akısını da arttırmıştır. Hız açısından incelendiğinde nanoakışkanın daha hızlı bir şekilde buharlaşarak yukarı doğru hareket ettiği ve daha hızlı bir şekilde ısıyı aktarıldığından döndüğü tespit edilmiştir. Bu da çevrim süresinin kısaldığını ve istenen sonuca aynı girdilerle daha çabuk ulaşılabileceğini göstermektedir [24].

Başka bir çalışmada CuO nanopartikülleri ile su kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın ETSC de kullanımının ısı performansına etkisi incelenmiştir. Nanopartikül oranı % 0.03 ve % 0.06 olan akışkanlar ile saf su kullanılarak sistemin ısı verimi ölçülmüştür. Nanoakışkanların ısı iletkenliği ve ısı kapasiteleri belirlenmiştir. Soğutma çevrimi için 20, 40 ve 60 lt/dk debilerinde çalışılmıştır. Verim artışı suya göre % 0.03 derişimli nanoakışkan kullanımında % 14 e kadar bir artış göstermiştir [25]. Bir başka çalışmada U-tüp güneş kolektörlerinde Al₂O₃ nanoakışkan kullanımı ve nanopartikül boyut etkisi araştırılmıştır. Isıl iletkenlik derişimin artmasıyla artarken partikül boyutunun büyümesi ile azalmıştır. 20-50 ve 100 nm boyutunda Al₂O₃ ile % 0.5, 1 ve 1.5 derişimlerde su kullanılarak nanoakışkanlar iki aşamalı yöntem ile sentezlenmiştir. Soğutma suyu çevriminde ise 0.033 kg/s ve 0.047 kg/s olmak üzere 2 farklı debide çalışılmıştır. En yüksek verim % 1 derişim, 0.047 debi ve 20nm boyutunda gerçekleşmiş ve suya göre % 24.1 daha fazla olmuştur [26].

Başka bir çalışmada grafin nano paletler (GNP) ve su kullanılarak iki aşamalı yöntemle hazırlanan nanoakışkan kullanımının ETSC lerde ısı verime etkisi incelenmiştir. Ağırlıkça % 0.025, 0.05, 0.075 ve 0.1 derişimlerde hazırlanan nanoakışkanların stabilitesi, özgül ısı, viskozite ve ısı iletimi incelenmiştir. Soğutma çevrimi 0.5, 1.0 ve 1.5 lt/dk olacak şekilde ısı verim değerlerine bakılmıştır. ASHRAE 93-2003 de belirtilen verim hesap yöntemleri kullanılmış ve en yüksek verim 1.5 lt/dk debi ve % 0.1 GNP olma durumunda % 90.7 olarak hesaplanmıştır [27].

Isı borulu olsun olmasın güneş kollektörlerinde yatayla yapılan açı önemlidir. Bir çalışmada Güneşe karşı konum ve yatayla yapılan açının etkisi incelenmiştir. Bulunduğu lokasyona göre güneşe karşı en yüksek 18.53 derece durumunda ısınım maksimum olmaktadır. Yatayla yapılan açı için yapılan verim analizinde en yüksek verim 50 derece durumunda elde edilmiş ve bu noktadan sonra düşmeye başlamıştır. Buoyancy kuvveti ile açı arttıkça buhar oluşumu artmış ve aynı zamanda sıvının evaporatöre dönmesi yerçekimi etkisiyle kolaylaşmıştır. Fakat 50 dereceden sonra yerçekimi etkisi nedeniyle ısı transferi gerçekleşmesi zorlaştığından verim düşmüştür. Bu çalışmada Soğutucu çevrim debisi 2 ile 14 kg/saat arasında değiştirilmiş ve ısı verim debi arttıkça artarak en yüksek değerine 12 kg/saat de ulaştıktan sonra düşmeye başlamıştır. Nanoakışkan içerisinde Al₂O₃ oranı arttıkça ısı verim artmıştır: %0.05, 0.25 ve 0.5 için sırasıyla % 3.79, 10.72 ve 15.24 suya göre artış olmuştur. Bunun sebebi olarak küçük buhar balonu oluşmasıyla katı-sıvı ara yüzünde ısı direnç düşmesiyle daha iyi ısı transferi gerçekleşmesi gösterilebilir. Eğer balon boyutu büyürse ısı direnç artacağından verim düşecektir. %0.5 lik nanoakışkana surfaktant ilavesi ile (1000 ppm) ısı verim iyileşmesi % 20 ye kadar çıkmıştır. Başka hiçbir çalışmada bahsi geçmeyen durum ise en yüksek verim suya sadece surfaktant ilave edildiği durumda ortaya çıkmış ve % 45.23 olmuştur. Araştırmacıların izahına göre çünkü yüzey gerilimi azalarak kaynama noktası sıcaklığı düşmektedir ve dolayısıyla daha az ısı ile daha çok buhar oluşmaktadır. Herhangi bir çalışma akışkan olmadığı durumda da soğutma çevriminde neredeyse sıcaklık giren-çıkan akışkan için değişmemiş olup çalışma akışkanına sistemin bağlı olduğunu göstermektedir [28].

Isı borularında yapılan bir çalışmada TiO₂ nanopartiküller %2 oranında saf su ile iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanan nanoakışkan kullanılmıştır. 1/3 oranında doldurulan ısı borusuna 200-300-400W ısı verilerek 5-7.5-10g/s soğutma su debisi ile deneyler yapılmıştır. Isıl performansta en yüksek artış % 16.5 olarak iyileşme 200W ve 5 g/s soğutma su debisi durumunda olmuştur [29].

Isı değiştiricilerinde yapılan bir çalışmada Al₂O₃ ve uçucu kül % 2 oranında kütlece şekilde değerlendirilebiliyor olması ayrı bir kazanımdır [31].

Isı borusunda kullanmak üzere küresel gümüş nanopartiküller ve su kullanılarak tek aşama yöntemi ile nanoakışkan hazırlanmıştır. Surfaktant kullanılmadan stabil bir

karışım elde edilmiştir. Reaksiyon hızlandıkça daha küçük boyutta nanopartikül elde edilmektedir. Bu sayede ısı iletkenlik artmakta ve yüksek çalışma sıcaklarında su elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca nanopartikül derişimi arttıkça ısı performansta artmaktadır. Bu nanoakışkan Newtonian bir davranış göstermiştir. Nanoakışkan kullanımının en belirgin üstünlüğü kısa zamanda tam kapasite çalışma koşullarında erişilmesi olmuştur. Isı borusunun tam kapasite çalışma koşullarına çıkma süresi derişimin kullanılarak, Triton X-100 surfaktant ve ultrasonik banyo uygulaması ile hazırlanan 2 tip nanoakışkanın eş merkezli paralel (PFCTHE) ve karşılıklı akışlı (CFCTHE) ısı değiştiricilerinde ısı performans etkisi incelenmiştir. Uçucu kül kullanım durumunda ısı verim bu iki ısı değiştiricisinde % 31.2 ve % 6.9 iyileştirilmişken; Al₂O₃ kullanımında % 5.1 ve % 2.8 iyileşme olmuştur. Her durum için 3 farklı debide çalışmalar yapılmıştır [30].

Karabük demir çelik fabrikasından demir fırınından alınan cüruf nanoboyuta indirilerek %2 oranında ağırlıkça suya ilave edilerek nanoakışkan hazırlanmıştır. İki fazlı kapalı termosifon tipi ısı borusunda 1/3 oranında doldurularak 200-300-400W ısı girişleri ile 5, 7.5 ve 10 g/s soğutma suyu debisiyle deneyler yapılmıştır. En yüksek verim artışı % 22 olup 200W ve 5 g/s koşullarında ortaya çıkmıştır. Nanoakışkan kullanımı ile cidar sıcaklıkları düşmüştür. Örneğin 300W ve 5g/s koşullarında cidar sıcaklığı 72.68 dereceden 66.6 dereceye düşmüştür. Isıl direncin düşmesiyle daha çok ısı transferi gerçekleştirilmiştir. Debinin artmasıyla ısı verim düşmüştür. En çok iyileştirme 200W ve 5 g/s durumunda suya göre % 21 artışla gerçekleştirilmiştir. Hem verim artışı sağlanmış hem de atık ürün olan cürufun bu en yüksek olduğu % 0.0032 durumunda 12 saniye iken saf su durumunda 32 saniyedir. Yoğuşturucu kısmında cidar sıcaklığı suya göre 4.6-8.3 derece daha fazla olmuştur. Derişimin en yüksek olduğu durumda sıcaklık farkı 4.2 o C iken saf su kullanımında buharlaştırıcı yoğuşturucu arasındaki sıcaklık farkı 12.1 derece olmuştur. Bunun sebebi olarak nanoakışkan kullanılması durumunda ısı direncin düşmesi ve ısı transferinin daha hızlı gerçekleştiriliyor olmasıdır. Isıl direnç düşümü maksimum seviyesine en yüksek derişimde çıkmış ve % 65.29 bir düşüş görülmüştür. Isı borusundaki büyük ısı direnç sıvı-katı arasındaki ara yüzde buhar kabarcığı oluşması sebebiyledir. Kabarcık büyüdükçe ısı direnç artmaktadır. Katı yüzeyden sıvıya ısı geçişi zorlaşmaktadır. Bu nedenle nanopartikül kullanılması ile kabarcık sayısı azalmakta ve boyutu küçülmekte dolayısıyla ısı verim artmaktadır [32].

Bor nanopartiküllerin kullanıldığı ender çalışmalardan birinde dekalın içerisinde çözülebilecek silanlı bor nanopartiküller elde edilerek yakıt performansını arttıracak katkı maddesi olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Yüzey modifikasyonu yapılarak BN nanopartiküllerin çözünürlüğü artırılmıştır. Karakterizasyon yapılırken XRD, TEM, FTIR, XPS ve TGA teknikleri kullanılmıştır. Bununla birlikte sıcaklığın ve derişimin stabilite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bor nanopartiküllerin

yüzey modifikasyonunda üzerinde bulunan oksit katmanın önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir [33].

Isı borularında büyük bir kayıp olmadan ısı bir noktadan başka bir noktaya aktarılabilir. Bir çalışmada grafin nanoakışkanın ısı borularında performan etkisi araştırılmıştır. GNP grade C özelliklerinde spesifik yüzey alanı 750 m²/gr , kalınlığı 2 nm ve çapı 2 µm dir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı arasındaki sıcaklık farkı giren ısı miktarı ile artmaktadır. Yatay ile yapılan açı 60 derece iken sıcaklık farkı en az olmaktadır. Yeteri kadar zaman yoğuşturucu da geçmezse ısı transferi kötü etkilenmekte ve buharlaştırıcı kısmında sıvı kalmamaktadır. Deney sonuçlarına göre GNP nanoakışkan kullanımında cidar sıcaklıkları düşmüştür. Derişim etkisi giren ısı miktarının etkisinden daha fazla cidar sıcaklıklarını etkilemektedir. Giren ısı artışı ile birlikte ısı verim daha yüksek olmakta çünkü ısı direnç daha düşük olmaktadır. Ayrıca yatayla 60 dereceye kadar ısı verim artmakta iken bu noktadan sonra düşmeye başlamaktadır. En yüksek verimin 90 derecede iken olması beklenirken 60 derecede olması fitilli ısı borularında yerçekimi etkisinin ısı verim üzerindeki etkisinin az olduğunu göstermektedir. Isı borusundaki performans iyileşmesinin sebepleri olarak buharlaştırıcı ve yoğuşturucu arasındaki sıcaklık farkı, buhar fazındaki sıcaklık düşüşü ve kayıpların azalması gösterilmektedir. Cidar sıcaklığında suya göre 27 derece düşüş sağlanmıştır. Son olarak GNP nanoakışkan kullanımıyla ısı transferi artmasından ısı transferi daha iyi olduğu sonucu SEM ve EDX resimlerinden anlaşılmıştır [34].

Bir çalışmada 50 farklı nanoakışkan, 3 farklı temel akışkan (su, etilen glikol ve motor yağı) ve derişim miktarları % 0.25 ile % 8 arasında değiştiği durumlarda ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapılmıştır.

Nanopartikülü oluşturan malzeme ile nanoakışkanın ısı iletkenlik katsayıları arasında doğrudan bir ilişki saptanamamıştır. Literatürde birbiriyle çelişen ifadeler ısı iletkenlik ile alakalı olarak kullanılmaktadır. En yaygın ölçüm metodu geçici sıcak tel (THW) metodudur. Hemen hemen bütün durumlarda nanopartikül ilavesi ile ısı iletkenliğin arttığı rapor edilmiştir. Parçacık boyutu ile ısı iletkenliğin ortaya çıkarılması için derişim dahil bütün koşullar aynı tutularak farklı boyutta aynı nanopartiküller ile hazırlanan nanoakışkanlara ihtiyaç vardır. Sonuç olarak partikül boyutu büyüdükçe ısı iletkenlik katsayısı artmaktadır. Aynı boyutta farklı materyaller kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre nanopartikül malzemesinin ısı iletkenlik açısından beklendiği gibi etkiliği olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte ısı karakteristik özellikleri arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Sonuç olarak nanopartikülün yoğunluğu arttıkça nanoakışkanın ısı iletim katsayısının arttığı sonucuna varılmıştır. Temel akışkan göre de ısı iletkenlik etkilenmektedir. Su motor yağına göre 5 kat etilen glikola göre 2 kat daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle nanopartikül eklenmesinin ısı iletkenliği temel akışkan göre iyileştirme yüzde etkisi iletkenliği kötü olan akışkan da daha yüksek olmaktadır. Sürfaktant kullanımı nanoakışkanın stabilitesini etkilese de ısı iletkenlik üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Metal içeren nanoakışkanların

ısı iletkenliği metal oksit veya silikon içerenlere göre daha yüksektir [35].

Sıvıların ısı iletim katsayıları ölçümü yapılırken yerçekimi yönünde oluşabilecek sıcaklık gradyanına dikkat edilmesi gerekmektedir. Aksi halde suda taşıma akımı gerçekleşmesi ısı iletimin yanlış ölçülmesine yol açacaktır. Sıvıların şekli, boyutu ve kesit alanı gibi özellikleri olmaması nedeniyle ölçüm zorlaşmaktadır. Ayrıca katı nanopartiküllerin sıvı içerisinde homojen dağılımı da ölçümün sıhhati için önemlidir. Isıl iletkenlik ölçümünde kullanılan tekniklerin başında geçici sıcak tel yöntemi (THW) bulunmaktadır ve yaklaşık olarak % 65 çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir. Geçici sıcak tel yöntemi (THW) 1931 yılında tozların mutlak ısı iletim katsayısını belirlemek için geliştirilmiştir. Bunu takip eden ısı kompratör yöntemi bu alanda yapılan çalışmaların % 10 unda kullanılmıştır. Diğer kullanılan 5 yöntem ise geri kalan çalışmalarda kullanılmıştır: Isıl Sabitler Analiz Yöntemi (%7), 3 Omega Yöntemi (%6), Sabit Paralel Plakalar Yöntemi (%6), Sıcaklık Salınım Yöntemi (%4) ve Silindirik Hücre Yöntemi (%2) [36].

Bir çalışmada boroksitten bilyalı öğütme ve tavlama yapılarak BN nanopartiküller elde edilerek karakterizasyonu yapılmıştır. Mikro morfolojisini incelemek için HRTEM tekniği kullanılmıştır. 200 µm boyutunda B O tozu 60 saat boyunca yüksek saflıkta Azot bulunan ortamda bilyalı öğütmeye tabi tutulmuştur. Burda kullanılan bilya- malzeme oranı 20:1 dir. Çelik bilyalar 6mm boyutunda olup devir sayısı dakikda 450 olmuştur. Ortalama boyutu 70 nm olup nanopartiküllerin boyutu 20-100 nm arasındadır. Daha sonrasında 1200 derece fırında 6 saat boyunca tutulmuştur. Kristal yapı XRD ile ve morfolojisi SEM ve TEM imajları ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak başarılı bir şekilde BN nanopartiküller elde edilmiştir [37].

Başka bir çalışmada su ve nanoakışkanların termosifon ısı borularında kullanılmasının ısı transfer karakteristik özellikleri üç boyutlu sayısal analiz yapılarak araştırılmıştır. Nanoakışkan olarak γ -Fe₂O₃ ve su kullanılmıştır. γ -Fe₂O₃ nanopartikül boyutu 4-5 nm mertebelerindedir. Karakterizasyonda XRD, TEM, SAED ve HRTEM teknikleri kullanılmıştır. 2 metre boyunda ısı borusunun 850 mm lik kısmı buharlaştırıcı sonrasında 250 mm adyabatik kısmı ve 850 mm lik kısmı ise yoğuşturucu olarak tasarlanmıştır. Çalışma sıcaklıkları olarak 60,70,80 ve 90 derece olarak; nanoakışkan olarak % 2 ve % 5.3 γ -Fe₂O₃ içerikli iki akışkan ile saf su kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan CFD kodu ANSYS CFX-12.0 versiyonudur. Yapılan deney sonuçları ile sayısal çalışma sonucu uyum içerisinde [38].

Bir çalışmada fotoakustik (PA) tekniği bir optik uygulama olarak nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini belirlemede kullanılmıştır. Bunun için nanoakışkanların transparant olması gerekmektedir. Bu teknikle nanoakışkan ile herhangi bir temas olmadığı gibi ölçümü etkileyecek herhangi bir zarar da yoktur. Bu nedenle iyi bir doğrulukla termofiziksel parametrelerin ölçümleri yapılabilmektedir. İki aşamalı yöntem kullanılarak TiO₂ ve

Al₂O₃ nanopartiküller ile temel akışkan olarak su kullanılmıştır. CTAB surfaktant olarak kullanılmıştır. XRD imajları ile kristal yapı kontrol edilmiştir. TEM ile Al₂O₃ boyutunun 3-7 nm olduğu ve TiO₂ 2 Deney sonuçlarına göre nanopartikül eklenmesi hem ısıl yayılmayı hem de ısıl effusiviteyi arttırmaktadır. Fakat ısıl kapasite yoğunluk artışı nedeniyle bazen gerçekleşmeyebilir hatta düşebilir. Bu çalışmada genel literatür sonuçlarından farklı olarak TiO₂ daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi kullanılan Al₂O₃ nanopartiküller boyutunun literatürdeki çalışmalara göre çok daha küçük olmasıdır. Bu nedenle yani parçaların ortalama fonon serbest yolundan küçük olması nedeniyle ısıl transferi olumsuz etkileniyor olmasıdır ama yine de saf suya göre daha yüksektir [39].

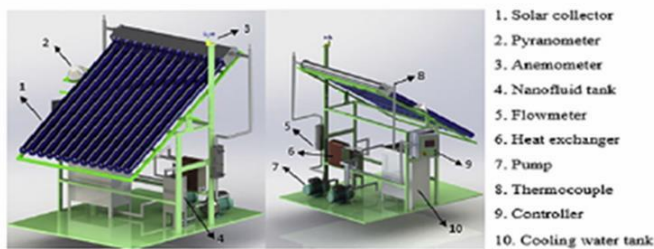
Bir gözden geçirme çalışmasında güneş kollektörler uygulamalarında nanoakışkan kullanılan çalışmalar gözden geçirilmiştir. Isıl iletiminin incelendiği 27 çalışma, viskozitenin incelendiği 11 çalışma ve 9 çalışmada ise güneş kollektörlerinde nanoakışkan kullanımı incelenmiştir. Bu çalışmaların hiç birisinde ETSC alanında ve Bor nanoakışkan kullanılmamıştır [40]. Bu çalışmada DASC (Direk Absorpsiyon Güneş Kollektörleri) larda nanoakışkan kullanımının etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Güneş enerjisi direk emilir ve çalışma akışkanına transfer edilir. Bu nedenle çalışma akışkanının optik performansı daha çok ısıl emilebilmesi için yüksek olmalıdır. Nanoakışkan kullanım durumunda güneş enerjisinin emilimi suya göre 9 kat daha fazla olabilmektedir. Bu çalışmada gümüş nanopartiküller absorptik asit ile indirgenmiş ve sitrik asit ile stabilize edilerek sentezlenmiştir. Deney sonucu ile sayısal hesaplama sonuçları arasında hazırlanan ilk modele göre %23.6 ve ikinci modele göre % 7.1 fark ortaya çıkmıştır. Bu farkların kalibrasyon ve ölçüm hataları ile hesaplamaları basitleştirmek için yapılan kabullerden ortaya çıktığı düşünülmektedir. Derinlik ve derişim arttıkça nanoakışkan daha fazla güneş ısısı emmiş fakat belli bir noktadan sonra artış olmamıştır. Güneş ışınımına maruz kalma süresi arttıkça verim düşmüştür. Çünkü sıcaklık farkının artmasıyla ısıl kaybı artmıştır. Güneş enerjisinin birçoğu görünür dalga boyundadır. Bu tarz kollektörlerdeki verimi arttırmak için güneşin spektral ışınım yoğunluğuna benzer özellikte nanoakışkan geliştirilmesi yerinde olacaktır [41].

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER (DISCUSSION AND SUGGESTIONS)

Nanoakışkanlar ile alakalı yaşanan bazı zorluklar da kullanımının yaygınlaşması önünde büyük engeller olarak durmaktadır. Uzun dönemde stabil kalamamasından dolayı zamanla ısıl verim düşmektedir. Stabil kalması için eklenen surfaktant miktarı gereğinden fazla olursa viskoziteyi arttırmakta, köpüklenmeye neden olarak ısıl transferini olumsuz etkilemekte ve kimyasal stabiliteyi olumsuz etkileri olmaktadır. Bu nedenle surfaktant kullanırken doğru tip seçme ve yeteri kadar kullanma noktalarına dikkat etmek gerekmektedir. Ayrıca viskozite ve yoğunluk artışına bağlı olarak basınç düşümü artmakta ve ihtiyaç duyulan pompa gücü artmaktadır. Akış laminar özelliklerini kaybettiğinde nanoakışkanların ısıl verimi temel akışkana göre düşmektedir. Bu nedenle kullanım yeri ve koşulları dikkate alınmalıdır. Son olarak da yüksek imalat maliyetleri ile üretiminde yaşanan zorluklar da nanoakışkan kullanımını sınırlamaktadır [42]. Aşağıdaki gibi bir sistem ile deneylerin gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır.

ETSCs' larda nanoakışkan kullanılması literatürde yapılan nadir çalışmalar incelendiğinde örneğine hiç rastlanmamış olunan Bor nano partiküller ile kullanılarak hazırlanan bir nanoakışkan kullanımının yerinde olacağı sonucuna varılmıştır. Bu da çalışmanın özgünlüğü ve akademik dünyaya sağlayacağı katkıyı ispatlamaktadır. Ülkemiz açısından değerlendirdiğimizde ise Bor bulunduğu üzere dünyada en çok Türkiye'de bulunmaktadır. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü web sitesinde yer alan bilgilere göre 3 milyar ton rezerve sahip olduğumuz tespit edilmiştir. Verilere göre dünya genelinde rezerv miktarının

% 72.8 oranında kısmı ülkemizde yer almakta ve en yakın ülke % 7.6 ile Rusya olmaktadır. Bu nedenle Bor ülkemiz için çok önemli ve stratejik değer arz etmektedir. Borun çok çeşitli kullanım alanları vardır: Tarım, Enerji, Metalurji, Sağlık, Yapı Malzemeleri ve Çimento, Alev , Geciktiriciler, Temizleme ve Beyazlatma gibi birçok sektörde kullanılmaktadır [14]. Bu nedenle nasıl bazı ülkeler için petrol ve doğalgaz kaynakları büyük önem arz edip gerek doğrudan enerji ihtiyacında gerekse petrokimya endüstrisi ile katma değeri daha yüksek ürünler elde edi-



Şekil 3. ETSC deney düzeneği [1]

lerek uluslararası rekabet ortamında ekonomik ve stratejik üstünlük sağlıyorlar ise bizlerin de ülkemizin yer altı kaynakları için piyasalar oluşturmak ve özellikle Bor gibi dünyada tartışmasız en yüksek rezerv değerine sahip olduğumuz elementin olası kullanım imkanlarını araştırıp yaygınlaştırmak üzerine çalışmalar yapmak akademik ve milli bir sorumluluğumuz olduğu düşünülmektedir.

SİMGELER (SYMBOLS)

K: Extinction Katsayısı

α : Emme Değeri

e: Emisyon Değeri

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

DYGK : Düzlem Yüzeyle Güneş Kolektörleri
 VTGK : Vakum Tüplü Güneş Kolektörleri IBGK: Isı Borulu Güneş Kolektörleri PGK: Parabolik Güneş Kolektörleri
 VTIBGK : Vakum Tüplü Isı Borulu Güneş Kolektörleri
 VTIBK : Vakum Tüplü Isı Borulu Kolektör
 FPSC : Flat Panel Solar Collector FPC: Flat Panel Collector
 FP : Flat Panel
 ETSCs : Evacuated Tubular Solar Collector PV: Fotovoltaik Panel
 ASHRAE : American Society Of Heating, Refrigerating And Engineers
 BET : Yüzeyle Alan Analizi UV: Ultra Viole
 TEM : Transmisyon Elektron Mikroskopi
 SEM : Scanning Electron Microscope
 SDBS : Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate
 CTAB : Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide
 hBN : Hekzagonal Bor Nitrit BN: Boron Nitrit
 pH : over of Hydrogen
 SDS : Sodium Dodecyl Sulfate PVP: Polyvinylpyrrolidone
 STEM : Semi Transmisyon Elektron Mikroskopi
 CNT : Carbon Nano Tube
 MWCNT : Mono Wall Carbon Nano Tube XRD: X Ray Diffraction
 Lt : litre
 FESEM : Field Emission Scanning Electron Microscopy
 W : Watt
 DARS : Direct Absorption Refrigeration System
 REFPROP: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties (Yazılım)
 COP : Coefficient of Performance ANSYS: Yazılım

FLUENT : CFD Yazılımı GNP: Graphene Nanoplatelets Ppm: Part per Million
 SAED : Selected Area Electron Diffraction
 HRTEM : High Resolution Transmisyon Elektron Mikroskopi,
 CFD : Computational Fluid Dynamics,
 PA : Foto akustik,
 DASC : Direk Absorpsiyon Güneş Kolektörleri

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hussein A. K. , Lib D. , Kolsic L. , Katad S., Sahoo B., “A review of nano fluid role to improve the performance of the heat pipe solar collectors, *Energy Procedia*, 109: 417 – 424, (2017)
- [2] Sabiha M. R. , Saidur R. , Mekhilef S. , Mahian O. , “Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 1038-1054, (2015)
- [3] Muhammad J. M. , Muhammad I. A. , Sidik N. A. C. , Yazid M. N. A. M., “Thermal performance enhancement of flat-plate and evacuated tube solar collectors using nanofluid”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76: 6–15, (2016)
- [4] Arslan G., Üç Kolonlu Titreşimli Isı Borusunun Matematiksel Modellenmesi ve Deneysel İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [5] Leong K.Y. , Ong H. C. , Amer N.H. , Norazrina M.J., Risby M.S. , KuAhmad K.Z., “An overview on current application of nanofluids in solar thermal collector and its challenges”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53: 1092 – 1105, (2016)
- [6] Devendiran D. K. , Amirtham V. A., “A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 21 – 40, (2016)
- [7] Akilu S. , Sharma K.V. , Baheta A. T. , Mamat R. , “A review of thermo physical properties of water based composite nano fluids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66: 654 –678, (2016)
- [8] Ersöz M. A. , Yıldız A. , Isı Borulu Vakum Tüp Güneş Kolektörlerinde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi, Abdullah Yıldız Şablon 28.03.2013
- [9] Acar B. , Öz E. S. Ve Gedik E. , Ayrık Ve Birleşik Isı Borulu Kolektör Verimlerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük Üniversitesi.
- [10] Sarsam W. S. , Kazi S.N. , Badarudin, “A review of studies on using nanofluids in flat-plate solar collectors”, *Solar Energy* 122: 1245–1265, (2015)
- [11] Ghaderian J. , Sidik N. A. C., “An experimental investigation on the effect of Al2O3/distilled water nanofluid on the energy efficiency of evacuated tube solar collector”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 108: 972–987, (2017)
- [12] Krishnam M, Bose S. , Das C. , “Boron nitride (BN) nanofluids as cooling agent in thermal management system(TMS)”, *Applied Thermal Engineering*, 106: 951–958, (2016)
- [13] Beybin İ. , Kurt M. , Ertürk H., “Experimental investigation of heat transfer enhancement and

- viscosity change of hBN nanofluids”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 77: 272–283, (2016)
- [14] İnternet: Bor Rezervleri (2014-2015- 2018) URL: <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor- rezervleri>. Son Erişim Tarihi: 10.10.2018
- [15] Environmental Health & Safety (EHS), Nanomaterials Safety Guidelines, Concordia University
- [16] Li Y. , Zhou J. , Luo Z, Tung S. , Schneider E. , Wu J. and Li X, “Investigation on two abnormal phenomena about thermal conductivity enhancement of BN/EG nanofluids”, *Nanoscale Research Letters*, 6: 443, (2011)
- [17] Jahanbakhsh A. , Haghgou H.R. , Alizadeh S. , “Experimental analysis of a heat pipe operated solar collector using water–ethanol solution as the working fluid”, *Solar Energy* 118: 267–275, (2015)
- [18] Liu Z. H. , Li Y. Y., “A new frontier of nanofluid research – Application of nanofluids in heat pipes”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55: 6786–6797, (2012)
- [19] Poplaski L. M. , Benn S. P. , Faghri A., “Thermal performance of heat pipes using nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 107: 358–371, (2017)
- [20] Javadi F.S. , Saidur R. , Kamalisarvestani M., “Investigating performance improvement of solar collectors by using nano fluids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 232 – 245, (2013)
- [21] Menlik T. , Sözen A. , Gürü M. , Oztas S., “Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe”, *Journal of the Energy Institute* 88: 247 – 257, (2015)
- [22] Menlik T. , Sözen A. , Gürü M. , Boran K. , Kılıç F. , Aktaş M. , Çakır M.T., “A comparative investigation on the effect of fly-ash and alumina nanofluids on the thermal performance of two-phase closed thermosyphon heat pipes”, *Applied Thermal Engineering* 96: 330–337, (2016)
- [23] Sözen A. , Özbaşı E. , Menlik T. , Çakır M. T. , Gürü M. , Boran K., “Improving the thermal performance of diffusion absorption refrigeration system with alumina nanofluids: An experimental study” , *International Journal of Refrigeration* 44: 73– 80, (2014)
- [24] Yan S. , Wang F. , Shi Z. , Tian R., “Heat transfer property of SiO₂/water nanofluid flow inside solar collector vacuum tubes”, *Applied Thermal Engineering* 118: 385–391, (2017)
- [25] Ghaderian J. , Sidik N. A. C. , Kasaeian A, Ghaderian S. , Okhovat A , Pakzadeh A. , Samion S. , Yahya W. J., “Performance of copper oxide/distilled water nanofluid in evacuated tube solar collector (ETSC) water heater with internal coil under thermosyphon system circulations”, *Applied Thermal Engineering* 121: 520–536 , (2017)
- [26] Kim H. , Kim J. , Cho H., “Experimental study on performance improvement of U-tube solar collector depending on nanoparticle size and concentration of Al₂O₃ nanofluid”, *Energy* 118: 1304– 1312, (2017)
- [27] Iranmanesh S. , Ong H. C. , Ang B. C. , Sadeghinezhad E. , Esmailzadeh A. , Mehrali M. , “Thermal performance enhancement of an evacuated tube solar collector using graphene nanoplatelets nanofluid”, *Journal of Cleaner Production* 162: 121 – 129, (2017)
- [28] Pisea G. A. , Salveb S. S. , Pisea A. T. , Pisea A. A. , “Investigation of solar heat pipe collector using nanofluid and surfactant”, *Energy Procedia* 90: 481 – 491, (2016)
- [29] Çiftçi E. , Sözen A. , Karaman E., “TiO₂ içeren nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 19(3): 367-376, (2016)
- [30] Sözen A. , Varyenli H. İ. , Özdemir M. B. , Gürü M., Aytaç İ., “Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers”, *Journal of the Energy Institute*, 89: 414 – 424, (2016)
- [31] Sözen A., Gürü M., Menlik T., Aktaş M., “Utilization of blast furnace slag nano-fluids in two-phase closed thermosyphon heat pipes for enhancing heat transfer”, *Experimental Heat Transfer*, 30(2): 112-125, (2017)
- [32] Wang W. , Duan G. , Li J. , Zhao W. , Li C. , ZLiu C., “The preparation and thermal performance research of spherical Ag-H₂O nanofluids & applied in heat pipe”, *Applied Thermal Engineering*, 116: 811–822, (2017)
- [33] Du M. , Li G., “Preparation of silane- capped boron nanoparticles with enhanced dispersibility in hydrocarbon fuels”, *Fuel*, 194: 75–82, (2017)
- [34] Sadeghinezhad E. , Mehrali M. , Rosen M. A. , Akhiani A. R. , Latibari S. T. , Mehrali M. , Metselaar H. S. C., “Experimental investigation of the effect of graphene nanofluids on heat pipe thermal performance”, *Applied Thermal Engineering*, 100: 775–787, (2016)
- [35] Pryazhnikov M.I. , Minakov A.V. , Rudyak V. Y. , Guzei D.V., “Thermal conductivity measurements of nanofluids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 104: 1275–1282, (2017)
- [36] Paul G. , Chopkar M. , Manna I. , Das P.K. , “Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 1913–1924, (2010)
- [37] Li Y. , Wang Y. , Lv Q. , Qin Z. , Liu X., “Synthesis of uniform plate-like boron nitride nanoparticles from boron oxide by ball milling and annealing process”, *Materials Letters*, 108: 96–102, (2013)
- [38] Huminic G. , Huminic A., “Numerical study on heat transfer characteristics of thermosyphon heat pipes using nanofluids”, *Energy Conversion and Management*, 76: 393–399, (2013)
- [39] El-Brolossy T. A. , O. Saber O., “Non- intrusive method for thermal properties measurement of nanofluids”, *Experimental Thermal and Fluid Science* 44: 498–503, (2013)
- [40] Nagarajan P. K. , Subramani J. , Suyambazhahan S. , Sathyamurthy R., “Nanofluids for solar collector applications: A Review”, *Energy Procedia*, 61: 2416 – 2434, (2014)
- [41] Chen M. , He Y. , Zhu J. , Wen D., “Investigating the collector efficiency of silver nanofluids based direct absorption solar collectors”, *Applied Energy* , 181: 65–74, (2016)
- [42] Saidur R. , Leong K. Y. , Mohammad H. A. , “A review on applications and challenges of nanofluids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 1646–1668, (2011)