



T.C.  
**KARABÜK ÜNİVERSİTESİ**  
**BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ**  
**LİSANSÜSTÜ TEZ PROJELERİ BAŞVURU FORMU**

<b>Projenin Başlığı</b>	Düz ve Pürüzlü Yüzeyle Sahip Ani Genişleyen Kanal İçerisindeki Ferro-Nanoakışkan Akışının Manyetik Alan Etkisi Altındaki Davranışının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi
<b>Proje Yürütücüsü</b>	Doç. Dr. [REDACTED]
<b>Birim/Bölüm/ABD (!)</b>	Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D.
<b>Araştırmacı(lar)</b>	[REDACTED]
<b>Proje Türü</b>	Doktora Tez Projesi
<b>Proje Grubu</b>	(X) Fen ve Mühendislik Bilimleri ( ) Tıp ve Sağlık Bilimleri ( ) Sosyal Bilimler

(!) Proje yürütücüsünün görev yaptığı birim, bölüm ve anabilim dalı belirtilmelidir.

### 1. PROJE ÖZETİ

Proje başlığı, özeti ve anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce yazılmalıdır. **Proje özetleri birer sayfayı geçmemelidir.** Özet projenin soyut bir tanıtımı değil, ana hatları ile önerilen projenin:

- Amacı,
- Konunun kısa bir tanıtımı, neden bu konunun seçildiği ve özgün değeri,
- Kuramsal yaklaşım ve kullanılacak yöntemin ana hatları,
- Ulaşılmak istenen hedefler ve beklenen çıktılarının bilimsel, teknolojik ve sosyo-ekonomik ne tür katkılarda bulunabileceği hususlarında ayrı paragraflar halinde kısa ve net cümlelerle bilgi verici nitelikte olmalıdır.

Anahtar kelimeler ve İngilizce karşılıkları (keywords) uluslararası literatüre uygun bir şekilde seçilerek özet sayfasının sonundaki ilgili bölümde ayrıca belirtilmelidir.

**Proje Başlığı:** Düz ve Pürüzlü Yüzeyle Sahip Ani Genişleyen Kanal İçerisindeki Ferro-Nanoakışkan Akışının Manyetik Alan Etkisi Altındaki Davranışının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi

#### Proje Özeti

İnsanların refah düzeyinin bir göstergesi olan enerjinin önemi gelişen teknoloji ve sanayileşmenin yaygınlaşmasından dolayı gün geçtikçe artmaktadır. Ancak enerjinin elde edilebilmesi için faydalanılan kömür, doğal gaz, petrol vb. fosil yakıt kaynaklarının azalması, çevrede ve küresel ölçekte neden olduğu etkiler ve ülkeler arasındaki politik nedenlerden dolayı önemini ve güvenilirliğini yitirmektedir. Enerji üretimi ve kullanımının neden olduğu bu etkilerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması, enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi ve mevcut sistem performansının daha efektif hale getirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda son zamanlarda dikkate değer bir artış görülmektedir. Günümüzde yaşanan bu gelişmelerde enerjinin türüne ve kullanım alanına bağlı olarak da birçok gelişme yaşanmaktadır. Termal sistemlerde kullanılan ekipmanların ve akışkanların ısı performansı arttırmaya yönelik yapılan çalışmalar bu gelişmelerden bir tanesidir. Bu çalışmalar pasif ve aktif teknikler olarak da literatürde yer alan birçok uygulama ile gerçekleştirilmektedir. Pasif teknikler sistemin termohidrolik performansını herhangi bir harici enerji kaynağına bağlı kalmadan arttırmaya yönelik çalışmaları kapsarken, aktif sistemlerde termohidrolik performansı arttırmak için harici bir enerji kaynağı gerektiren çalışmaları ele almaktadır. Bu tekniklerin kullanıldığı çalışmalar günümüzde araştırma doyumuna ulaşmış ve günümüzde bu tekniklerin bir arada kullanıldığı karma sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda enerji depolama sistemleri başta olmak üzere termal sistemlerin genelinde pasif ve aktif sistemlerin bir arada kullanımı mümkün olmakta ve bu alanda yapılan çalışmalar gün geçtikçe hız kazanmaktadır.

Termal sistemlerde enerjinin depolanması ve verimliliği ne kadar önemli ise ısı transfer yöntemlerinin de verimliliği bir o kadar önemli olup, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için birçok pasif ve aktif yöntem kullanılmaktadır. Bu kapsamda farklı geometrik şekillerde kanat kullanarak ısı transfer yüzeyi performansının artırılması ve nanoakışkan kullanarak çalışma akışkanının termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi gibi çalışmalar yapılmaktadır. Yapılacak proje çalışmasında enerji depolama sistemlerinde, ısıtma ve soğutma sistemlerinde, gaz türbinlerinde, yakıcılarda ve birçok sanayi alanında kullanımı bulunan ani genişlemeli kanala pasif ve aktif ısı transferi artış teknikleri uygulanarak ısı ve akış karakteristiğindeki değişimler incelenecektir. Ani genişlemeli kanalda pasif teknik kapsamında ısı transfer yüzeyinin performansını arttırmak için çukur kanat yapısı, çalışma

akışkanı olarak ise ferro-nanoakışkanı kullanılacaktır. Aktif sistem olarak ise manyetiklenme özelliği bulunan ferro-nanoakışkanına elektromıknatıs bobin yardımıyla manyetik alan uygulanarak ısı ve akış karakteristiğine etkisi kapsamlı bir şekilde incelenecektir.

Bu kapsamda geniş parametre aralığında, ani genişleyen kanal içerisindeki akışın düz ve pürüzlü yüzey şartlarında ve manyetik alanın uygulandığı ve uygulanmadığı durumda ısı performans ve akış karakteristiklerini deneysel ve sayısal olarak laminer akış ( $1000 < Re < 2000$ ) şartlarında incelenmesi bu projenin temel amacıdır. Bu özgün akış problemi ile ilgili yapılan araştırmalara göre aktif ve pasif teknikleri kullanan üç yöntemin (çukur kanatçık yapısına sahip ani genişlemeli kanal, nanoakışkan kullanımı, manyetik alan uygulanması) birlikte kullanılacak olması, literatürde bu üç yöntemin uygulandığı çalışma olmaması açısından ele alındığında literatüre katkı sunma potansiyeli oldukça yüksektir. Böylelikle, çalışma kapsamında akış problemi ile ilgili yapılacak deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilecek sonuçlar literatüre alanında ilk sonuçlar olarak sunulacaktır. Ani genişleyen kanalda, taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin, yeniden birleşme noktası gibi bazı kritik noktalarda çok yüksek değerlere ulaşmasındaki fiziksel mekanizmanın irdelenmesi enerji depolama sistemleri gibi ısı transferinin etkin kullanımının kritik olduğu sistemlerde büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, bu geometride dışarıdan bir etki ile akış kontrolü sağlanarak daha yüksek taşınım ile ısı transferi değerleri elde edilebilecektir. Proje sonuçları; gaz türbini motorları, yakıcılar, ısıtma ve soğutma sistemleri, ısı değiştiricileri, enerji depolama sistemleri gibi ısı transferi uygulamaları içeren birçok sektörde bir bilgi kaynağı oluşturacak ve ilgili sanayinin hem güncel problemlerinin çözümünü hem de geleceğe yönelik beklentilerini karşılayacak şekilde direkt üretim odaklı çıktılar sunabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Ani genişleyen kanal, pürüzlü yüzey, ferro-nanoakışkan, manyetohidrodynamic akış, laminer akış.

**Project Title:** Experimental and numerical investigation of ferro-nanofluid flow behavior under the effect of magnetic field in the sudden expansion tube with smooth and rough surfaces

The importance of energy, which is an indicator of the welfare level of people, is increasing day by day due to developing technology and industrialization. However, it loses its importance and reliability due to the decrease in fossil fuel resources such as coal, natural gas, oil, etc. used to obtain energy, the effects it causes on the environment and on a global scale, and political reasons between countries. Due to these effects caused by energy production and use, there has been a remarkable increase in recent studies on the interest in renewable energy sources, the development of energy storage systems, and making the current system performance more effective. In today's developments, there are many developments depending on the type of energy and its usage area. Studies to increase the thermal performance of equipment and fluids used in thermal systems are one of these developments. These studies are carried out with many applications in the literature as passive and active techniques. While passive techniques cover the studies to increase the thermohydraulic performance of the system without being dependent on any external energy source, it deals with the studies that require an external energy source to increase the thermohydraulic performance in active systems. The studies in which these techniques are used have reached research satisfaction and today mixed systems in which these techniques are used together have begun to be developed. In this context, it is possible to use passive and active systems together in thermal systems, especially in energy storage systems, and studies in this field are gaining momentum daily.

The efficiency of heat transfer methods is as important as the storage and efficiency of energy in thermal systems, and many passive and active methods are used for development and improvement. In this context, studies such as increasing the heat transfer surface performance by using fins in different geometric shapes and improving the thermophysical properties of the working fluid by using nanofluids are carried out. In the project study, the changes in the heat and flow characteristics will be examined by applying passive and active heat transfer increase techniques to the sudden expansion tube, which is used in energy storage systems, heating and cooling systems, gas turbines, burners, and many industrial areas. A dimple fin structure will be used to increase the performance of the heat transfer surface within the scope of the passive technique in the sudden expansion tube, and ferro-nanofluid will be used as the working fluid. As an active system, a magnetic field will be applied to the ferro-nanofluid with a magnetization feature with the help of an electromagnet coil, and its effect on heat and flow characteristics will be examined in detail.

In this context, the main aim of this project is to experimentally and numerically examine the thermal performance and flow characteristics of the flow in a wide parameter range, in the flat and rough surface conditions of the suddenly expansion tube, and in laminar flow ( $1000 < Re < 2000$ ) conditions, in case the magnetic field is applied or not. According to the studies on this unique flow problem, the potential to contribute to the literature in terms of the fact that three methods using active and passive techniques (sudden expansion tube with dimple fin structure, use of nanofluids, application of magnetic field) are to be used together, and there is no study in the literature in which these three methods are applied, is quite high. Thus, the results to be obtained from the experimental and numerical studies to be carried out on the flow problem within the scope of the study will be presented to the literature as the first results in the field. Examination of the physical mechanism of convection heat transfer in the rapidly expanding tube to reach very high values at some critical points such as the reattachment point is of great importance in systems where effective use of heat transfer is critical, such as energy storage systems. In addition, by providing flow control with an external effect in this geometry, higher convection, and heat transfer values can be obtained. Project results; It will be a source of information in many sectors including heat transfer applications such as gas turbine engines, burners, heating and cooling systems, heat exchangers, and energy storage systems, and will be able to offer direct production-oriented outputs in a way that will meet both the solution of current problems of the relevant industry and its future expectations.

**Keywords:** Sudden expansion tube, rough surface, ferro-nanofluid, magnetohydrodynamic flow, laminar flow.

## 2. AMAÇ VE HEDEFLER

Projenin amacı ve hedefleri ayrı bölümler halinde kısa ve net cümlelerle ortaya konulmalıdır. Amaç ve hedeflerin belirgin, ölçülebilir, gerçekçi ve proje süresinde ulaşılabilir nitelikte olmasına dikkat edilmelidir.

Önerilen proje çalışmasının temel amacı manyetik alan etkisi altındaki düz ve pürüzlü yüzeylere sahip kanallarda manyetikleşme özelliği olan ferro-nanoakışkanın ( $Fe_3O_4/su$ ) ısı transferi ve akış karakteristiğinin incelenmesi ve kanal içi taşınım ile ısı transferi iyileştirme potansiyelinin belirlenerek ısı transferi uygulamalarında kullanılan ekipman ve cihazlarda uygulanabilirliğin artırılmasıdır. Böylelikle ısı transferi yönünden performansı dolayısıyla enerji verimliliği artırılmak istenen cihaz ve sistemlerde kullanımının yaygınlaştırılması sağlanabilecektir. Gerçekleştirilecek çalışma sayesinde, manyetik alan etkisi altındaki düz ve pürüzlü yüzeye sahip dairesel ve ani genişleyen kanal içerisindeki ferro-nanoakışkan ( $Fe_3O_4/su$ ) akışı sayısal olarak incelenecektir. Çalışmalarda nanopartikül hacimsel konsantrasyon etkisini belirleyebilmek amacıyla %1,0 ve %2,0 olmak üzere iki farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı kullanılacaktır. Manyetik alan etkisini görebilmek amacıyla dairesel ve ani genişleyen kanallara  $B_0=0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,3$  ve  $0,5T$  değerlerinde sabit manyetik alan (DC) şiddeti uygulanacaktır. Yüzey pürüzlülüğünün etkisini belirleyebilmek amacıyla dairesel ve ani genişleyen kanala yüzey pürüzlülüğü yüzey üzerine yarım küre şeklinde yerleştirilecek engeller (çukur kanatçıklar) ile sağlanacaktır. Yüze yerleştirilecek üç farklı çap değerine sahip (3,0; 5,0 ve 7,0 mm) yarım küre engeller için sistematik çalışmalar yapılacak olup, kanat derinliğinin (1,5; 2,5 ve 3,5 mm) taşınım ile gerçekleşen ısı transferini nasıl etki ettiği belirlenecektir. Bununla birlikte kullanılacak ani genişleyen kanalın çıkış çapının giriş kanal çapına oranı üç farklı durum ( $D_2/D_1=1,4; 2,0; \text{ve } 2,5$ ) olarak incelenecektir. Sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlara dayanarak en iyi ısı ve akış performansını sağlayan akış geometrisi deneysel sete dönüştürülecektir. Böylece, sayısal çalışmadan elde edilen veriler deneysel sonuçlar ile karşılaştırılarak doğrulanacaktır. Bunun yanı sıra, tüm deneysel ve sayısal çalışmalarda kullanılan geniş yelpazedeki parametreler için akış ve ısı transferi karakteristikleri belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Proje kapsamında yapılan çalışmalarda temel hedefler:

1. Sayısal çalışmalarda tüm geometrik ve sınır şartlarının çözdürülerek ani genişlemeli kanal için en uygun genişleme oranının belirlenmesi,
2. Manyetik alan varlığında ve yokluğunda ferro-nanoakışkanın ani genişleyen kanal içerisindeki taşınım ile gerçekleşen ısı transferine ve kanal içi basınç düşümüne etkisinin belirlenmesi sonucu deneysel çalışmalar için pürüzsüz yüzeye sahip ani genişlemeli elde edilmesi,
3. Ani genişleyen kanal geometrisi içerisine pürüzlülüğü sağlamak için yerleştirilecek farklı çap değerine (3,0; 5,0 ve 7,0 mm), çukur kanat çapları arasındaki mesafenin  $P=15,0$  mm olacak şekilde, farklı derinlik değerine (1,5; 2,5 ve 3,5 mm) sahip yarım küre şeklindeki engellerin manyetik alan varlığında ve yokluğunda ferro-nanoakışkanın akış ve ısı transferi karakteristiklerine olan etkisinin belirlenmesi ve bunun sonucunda optimum çukur kanat geometrisinin tespit edilerek deneysel çalışmalar için pürüzlü yüzeye sahip ani genişlemeli kanalının elde edilmesi.
4. Hedeflerde 4 ve 5. maddeler için en uygun manyetik alan şiddetinin tespit edilmesi,
5. Pürüzlü ve pürüzsüz kanallarda deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi ve sayısal sonuçlar ile karşılaştırılması,
6. Araştırma sonuçlarının ulusal/uluslararası platformlarda paylaşılması ve en az 2 adet etki faktörü yüksek uluslararası SCI kapsamındaki dergilerde yayınlanması,

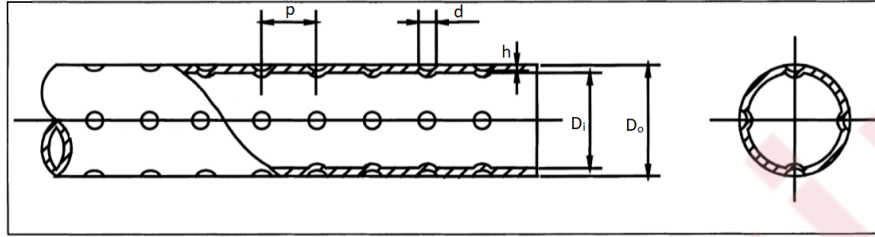
## 3. KONU, KAPSAM ve LİTERATÜR ÖZETİ

Proje önerisinde ele alınan konunun kapsamı ve sınırları, projenin araştırma sorusu veya problemi açık bir şekilde ortaya konulmalı ve ilgili bilim/teknoloji alan(lar)ındaki literatür taraması ve değerlendirilmesi yapılarak proje konusunun literatürdeki önemi, arka planı, bugün gelinen durum, yaşanan sorunlar, eksiklikler, doldurulması gereken boşluklar vb. hususlar açık ve net bir şekilde ortaya konulmalıdır.

Literatür değerlendirmesi yapılırken ham bir literatür listesi değil, ilgili literatürün özet halinde bir analizi sunulmalıdır. Kaynaklar 8.maddede verilmelidir.

Ani genişleyen kanal, akış ayrılması ve yeniden birleşmenin yaşandığı bir geometridir. Ani genişleyen kanalda, taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin, yeniden birleşme noktası gibi bazı kritik noktalarda çok yüksek değerlere ulaşmasındaki fiziksel mekanizmanın irdelenmesi büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, bu geometride dışarıdan bir etki ile akış kontrolü sağlanarak daha yüksek taşınım ile ısı transferi değerleri elde edilebilmektedir. Bir zorlanmış iç akış sırasında meydana gelen ısı transferi ve viskoz etkiler daha çok kanal duvarlarında görülmektedir. Kanalda akış ayrılmasında sürtünmenin birden azalması ile merteye olarak akışın yeniden birleşme kısımlarındaki entropi üretimine göre daha küçük değerler almaktadır. Buradan hareketle, konu bir adım daha ileriye götürülerek planlanan çalışmalarda, çalışma akışkanı olarak  $Fe_3O_4$  nanoparçacıklarının saf su içerisindeki dağılımı ile oluşturulacak ferro-nanoakışkanın farklı hacimsel konsantrasyonları kullanılarak düz ve pürüzlü yüzeylere sahip ani genişleyen kanal içerisindeki akış ve ısı transferi deneysel ve sayısal olarak analiz edilecektir. Bu özgün akış problemi ile ilgili yapılan literatür araştırmasına göre literatürde bu konuda mevcut bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Çalışma kapsamında, akış problemi ile ilgili yapılacak deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilecek sonuçlar literatüre alanında ilk sonuçlar olarak sunulacaktır. Ayrıca, tasarlanan geometri yüzeyine yerleştirilecek farklı çap değerlerine ve çap derinliklerine sahip yarım küre engeller ile pürüzlü yüzey elde edilecek ve her bir parametre için sistematik çalışmalar da literatürde ilk kez yapılmış olacaktır. Çalışmada ani genişleyen kanal yüzeylerine farklı değerlerde sabit manyetik alan uygulanacaktır. Çalışmalar laminar akış şartları

altında ( $1000 \leq Re \leq 2000$ ) gerçekleştirilecektir. Parametre aralığı geniş tutularak, farklı genişleme oranlarına sahip ( $D_2/D_1 = 2,5; 2,0$  ve  $1,4$ ) düz ve pürüzlü yüzeyli ani genişleyen kanal içerisindeki sabit manyetik alan etkisi altında ferro-nanoakışkanın akış ve ısı transferi kapsamlı sayısal çalışmalar yapılarak akış fiziği detaylı olarak incelenecektir ve en yüksek performansı sağlayan akış geometrisi ve şartı deneysel olarak incelenecektir. Pürüzlü yüzey yapısına sahip kanal geometrisinin detay görünümü **Şekil 1**'de, kanal geometrileri için belirleyici olan çukur kanatçık parametreleri ise **Tablo 1**'de detaylı olarak verilmiştir. Böylece, en iyi ısı performansı sağlayacak manyetik alan şiddeti, genişleme oranı, akış hızı, pürüzlülük değeri ve nanoparçacık hacimsel konsantrasyon oranı belirlenecektir.



**Şekil 1.** Çukur kanatçık yapısına sahip kanalın görünümü.

**Tablo 1.** Sayısal çalışmalarda kullanılacak çukur kanatçıklı kanal konfigürasyonları.

Durum	Kanatçık çapı (mm) (d)	Kanatçık derinliği (mm) (h)	Kanatçık aralığı (mm) (p)
1	Ø3	1,5	15
2	Ø5	2,5	15
3	Ø7	3,5	15

Önerilen çalışmadaki özgün parametrik değişkenler için deneysel ve sayısal çalışmalar sayesinde, ani genişleyen kanal akış problemlerindeki geometrilerin optimize edilmesi, nanoakışkan kullanılarak ısı transfer mekanizmasının iyileştirilmesi, manyetik alan ile akış kontrolünün sağlanabilmesi ve karmaşık fiziksel yapının açıklanarak literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir. Ani genişleyen kanal; gaz türbini motorları, yakıcılar, ısıtma ve soğutma sistemleri vb. hemen hemen her sektörde gün geçtikçe boyutları küçülerek ve fiziksel özellikleri artarak uygulama alanı bulmaktadır. Önerilen çalışma, sanayinin hem güncel problemlerinin çözümünü hem de geleceğe yönelik beklentilerini karşılayacak şekilde direkt üretim odaklı çıktılar sunabilecektir.

Günümüzde yapılan çalışmalar ve uygulamalar incelendiğinde ısı transfer akışkanı olarak su, yağ, etilen glikol gibi ısı transferi performansı düşük akışkanların yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu tür geleneksel temel akışkanların ısı transferi performansını artırmak için katkı maddesi kullanmak ısı geçişini iyileştirmeye yönelik uygulanan pasif yöntemlerden birisidir [Maxwell \(1873\)](#). Malzeme teknolojisindeki yeniliklerle birlikte, nanometre boyutlarında üretilebilen yüksek ısıl iletkenliğe sahip metalik partiküllerin geleneksel ısı transferi akışkanlarına katılmasıyla yüksek performanslı yeni nesil akışkanların elde edilebilmesi mümkün olmuştur ([Choi 1995](#)). Bu tür akışkanlar; nanoakışkan olarak adlandırılmakta olup, temel akışkanın ısı transferi karakteristiğini son derece iyileştiren, yeni nesil ısı transfer akışkanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Nanoakışkanların ısı transferini artırma sebeplerinden birisi, nanopartikül eklenmesiyle cidar yakınında sınır tabaka kalınlığında azalmanın olmasıdır ([Chandrasekar vd., 2012](#)). Farklı geometri kanallarda içerisindeki nanoakışkan akışının incelenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar literatürde oldukça önemli yer tutmaktadır. Örneğin, su bazlı ferro-akışkanların sabit ısı akışı sınır şartlarında dikkörtgen kesite sahip çoklu mikro kanallarda ısı transferi ve basınç düşümü karakteristikleri detaylı olarak araştırılmıştır ([Manay, 2018](#)). [Şahin vd. \(2019\)](#) ise çalışmalarında sabit ısı akışı sınır şartlarında, 700 µm çapında dairesel bir mikrokanalda SiO<sub>2</sub>-saf su nanoakışkanlarının ısı transferi performansı ve akış karakteristiğini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda Nusselt (Nu) sayısının Reynolds (Re) sayısı ve nanopartikülün hacimsel konsantrasyonlarındaki artışla arttığı gözlenmiştir. [Karabulut vd. \(2019\)](#) çalışmalarında, boru içerisindeki akış şartlarında çalışma akışkanı olarak kullanılan %0,01 nanopartikül hacimsel konsantrasyonlu grafen oksit (GO)-saf su nanoakışkanının taşınım ile ısı transferi ve basınç düşümünü karakteristiklerini incelemişlerdir. [Paul vd. \(2019\)](#) dairesel kesitli bir kanaldaki iyonik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-su nanoakışkanının ısı transfer performansını %0,18-%0,54 aralığında farklı nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranlarında laminer akış şartında deneysel olarak detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmada, artan nanopartikül hacimsel konsantrasyonla birlikte kanal içerisindeki taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızının da arttığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak bu konudaki yapılan çalışmalarda ısı transferin geleneksel akışkanlar yerine nanoakışkan kullanılması ile iyileştiği görülmektedir. Isı transferindeki bu iyileşme temel olarak kullanılan nanoakışkan türüne, üretim yöntemine, nanoakışkan süspansiyonunu oluşturan nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranına ve nanopartikül şekline bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Önerilen bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecek deneylerde çalışma akışkanı olarak manyetiklenme özelliği nedeniyle akışın fiziksel durumlarında değişiklikler gösterebilen ferro-nanoakışkan (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/su) kullanılacaktır.

Taşınım ile gerçekleşen ısı transferini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerden biri de akışa manyetik alan uygulanmasıdır. Akışkanların yoğunluk ve viskozite gibi özellikleri akışa uygulanan harici bir manyetik alan altında değişebilmektedir. Kanala dışarıdan akışa dik yönde uygulanan manyetik alan indüksiyonunun, kanal içindeki akışkanın hız profili, debi, basınç ve sıcaklık değerlerini etkilediği yapılan deneysel ve sayısal çalışmalarla ortaya konulmuştur ([Gedik, 2012](#)). Elektriksel olarak iletken olan bu tür akışkanların manyetik alan altındaki davranışları Manyetohidrodinamik (MHD) akış olarak ifade edilmekte olup, araştırmacılara soğutma, mikro-elektronik, taşımacılık ve imalat sektörü, tıp bilimi, biyo-mühendislik, mikro ısı değiştirgeçleri ve



mikro elektronik soğutma teknikleri gibi endüstriyel alanlarda çalışabilme fırsatı sunmaktadır. Son yıllarda nükleer soğutma reaktörleri, aerodinamikte sınır tabaka kontrolü, tıpta manyetik rezonans görüntüleme teknolojileri, metalurjik proseslerde metal akış hatlarının kontrolü MHD alanında öne çıkan uygulama alanlarındandır. [Hartmann J. \(1937\)](#) manyetik alan altında akışkan davranışı üzerine yapılan ilk çalışmayı gerçekleştirmiştir. [Nagaraju vd. \(2019\)](#) çalışmalarında dairesel kesitli bir kanaldaki sıkıştırılmaz, viskoz akışkan akışının iki-boyutlu ısı transfer davranışını analitik olarak incelemişlerdir. Manyetik alan uygulamalarının son dönemde nanoakışkanlara uygulandığı örnekler de literatürde oldukça yaygındır. Ferro-nanoakışkanlar bunlara en iyi örnek olup, bu kapsamda ısı pompası, ısı değiştirici, radyatör, güneş kolektörleri, nükleer reaktör gibi nanoakışkan akışı içeren çeşitli uygulamalarda ısı performans iyileştirmesi için manyetik alandan yararlanılması cazip hale gelmiştir. [Lajvardi vd. \(2010\)](#) çalışmalarında  $Fe_3O_4$ -su nanoakışkanını dairesel kesitli bir kanal içine pompalayarak test kanalına harici  $0 < B_0 < 1200$  G değerlerinde değişken manyetik akı uygulamışlardır. Uygulanan manyetik alanın etkisi altında ferro-nanoakışkanın termofiziksel özelliklerinde önemli değişiklikler elde edilmiştir. [Roszko ve Fomalik-Wajs \(2016\)](#) Cu/CuO-H<sub>2</sub>O hibrit nanoakışkan akışına harici olarak uygulanan 0T-9T aralığında farklı büyüklüklerde manyetik alan şiddetinin etkisiyle çeşitli parametrelerin taşınımı olan ısı transferini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Çalışmalarda manyetik etkinin artışıyla birlikte taşınımı olan ısı transferinde belirli oranlarda iyileşmeler gözlemlenmiştir. [Sha vd. \(2017\)](#) çalışmalarında  $B_0=200$  G büyüklüğündeki manyetik alan şiddeti altındaki taşınımı gerçekleştiren ısı transferi artışının, sınır tabakası kalınlığındaki düşüşten kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ek olarak, manyetik nanopartiküllerin zincir benzeri yapı dağılımı ve Brownian hareketinin de taşınımı gerçekleştiren ısı transferini etkilediği gözlemlenmiştir. [Mei vd. \(2019\)](#) dairesel kesitli bakır bir kanal içinden akmakta olan  $Fe_3O_4$ -su nanoakışkan akışını  $600 < Re < 11000$  ve  $0G < B_0 < 300G$  değerleri için incelemişlerdir. Sonuç olarak, Nu sayısının nanopartikül kütle konsantrasyonuyla doğru, paralel manyetik indüksiyon değeri ile ters orantılı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Önerilen bu çalışmada düz ve pürüzlü yüzeye sahip ani genişlemeli kanallardaki ferro-nanoakışkanların farklı manyetik alan indüksiyon değerleri ( $B_0=0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,3$  ve  $0,5T$ ) altındaki akışı deneysel ve sayısal olarak incelenecektir. Elbette farklı parametreler için ferro-nanoakışkanların bu tür geometrilerdeki manyeohidrohidrodinamik (MHD) akışı literatürde incelenmiştir. Ancak söz konusu bu geometriler üzerinde amaca (ısı transferini iyileştirmek) yönelik yapılan farklı tasarımlar çalışmanın özgünlüğünü arttıracak nitelikte olabilmektedir. Bu bağlamda akışkana dışarıdan herhangi bir enerji verilmeksizin ısı transferini iyileştirmede kanatçıklardan/engellerden faydalanılması ısı transferini iyileştirmek için kullanılan aktif tekniklerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulanan engeller farklı geometrik şekillerde olabilmektedir. Sıklıkla kullanılan geometrilerden birisi yarım küre şeklinde tümsekler oluşturularak elde edilen çukur kanatçık yapılarıdır. Örnek olarak, [Kumar ve Maithani \(2018\)](#) yaptıkları çalışmada küresel çukur kanatçıklı kanal içi hava akışı için ısı taşınım korelasyonları geliştirmişlerdir. Kanatçık aralığı 15-35 mm, kanatçık çapları 0,5-1,5 mm aralığında değişen konfigürasyonlar uygulanarak optimum ısı iyileşmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmaları sonucunda 1 mm kanatçık çapı, 15 mm kanatçık aralıklı boru için maksimum ısı iyileşme oranı 4.19 olarak tespit edilmiştir. [Dağdevir vd. \(2019\)](#) trapezoidal ( $30^\circ, 45^\circ$  ve  $60^\circ$ ) çukur kanatçıklı dairesel kesitli kanal içerisindeki saf su akışının karakteristiğini ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Kanatçık aralığı 10-50 mm arasında seçilmiş olup kanatçık çapı 5, 6 ve 7 mm olarak ele alınmıştır. En yüksek ısı transferi değeri  $D/d = 7$  mm,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $PL = 10$  mm şartları için  $Re=8000$  değerinde elde edilmiştir. Burada elde edilen değer pürüzsüz kanala göre karşılaştırılmış ve ısı transferi performansı 2,1 kat yüksek çıkmıştır. [Sabir vd. \(2020\)](#) tarafından yapılan çalışmada, içerisine konik, küresel ve elipsoidal çukur kanatçıklar yerleştirilmiş dairesel kesitli kanallar yüzeylerine uygulanan  $10 \text{ kW/m}^2$  sabit ısı akışı ile ısıtılarak kanal içerisindeki saf su akışı sayısal olarak Large Eddy Simülasyonu (LES) ile modellenmiştir. Farklı kanatçıklı boru tipleri için yapılan analizlerde  $45^\circ$  açılı elipsoidal kanatçıklı boru için termo-hidrolik performans pürüzsüz boruya kıyasla %119,5 yüksek çıkmıştır. [Manoram vd. \(2020\)](#) ise güneş enerjili su ısıtıcısı için tasarlanan çukur kanatçıklı mikrokannallar sayesinde ısı transferinin iyileşme oranlarında önemli bir artış gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında farklı kanatçık aralığı ve kanatçık çapı durumlarını kullanmışlar ve en yüksek taşınımı gerçekleştiren ısı transferi değerini %32,3 olarak elde etmişlerdir.

Kanal içine yerleştirilen bu tarz yapılar genellikle zorlanmış taşınım ile ısı transferinin gerçekleşmesinin istendiği tek fazlı ve çift fazlı akışlarda tercih edilebilmektedirler. Kanatçık etkisi oluşturan iç elemanlar akışı kanal boyunca karıştırarak boru cidarı ya da yüzeye yakın bölgelerde akış tıkanmasına neden olan akış hızını artırarak sürtünme kuvvetlerini tetikleyerek basınç düşümlerine yol açan ve dolayısıyla pompalama gücünü artıran önemli bir etmendir. Bu nedenle ısı taşınımının artırılması yönünde yapılan kanal içi akış problemlerinin incelenmesinde basınç düşümleri de dikkate alınarak performans değerlendirme kriterlerinin (PDK) belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte geleneksel akışkanlar dışında nanoakışkanların çukur kanatçıklı kanalların içerisinde akan çalışma akışkanı olarak kullanılması üzerine de önemli çalışmalar literatürde yer almaktadır. [Eiamsa-ard vd. \(2019\)](#) tarafından %0,05, %0,1 ve %0,15 hacimsel konsantrasyonlu  $TiO_2$ -su nanoakışkan içeren çalışma akışkanının çukur kanatçıklı dairesel kesitli kanal içerisindeki taşınımı gerçekleştiren ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kanal içerisine  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$  ve  $45^\circ$  açılı çukurların yanı sıra kanal içi helisel türbülötörler de yerleştirilmiştir. %0,15 nanopartikül hacimsel konsantrasyonlu nanoakışkan akışı ve  $45^\circ$  açılı çukur kanatçıklı boruda en yüksek termo-hidrolik performans değeri elde edilmiştir. Kanatçık açısının artmasıyla ısı iyileşmesinin arttığı ifade edilmiştir.  $0^\circ$  açılı çukur kanatçıklı kanal içi nanoakışkan akışında pürüzsüz boruya kıyasla 1,33 kat ısı transferi iyileşmesi gözlemlenmiştir.

Önerilen bu çalışma kapsamında da dairesel kanal yüzeyine yerleştirilecek üç farklı çap (3,0; 5,0 ve 7,0 mm) değerine sahip yarım küre engelleri ile engel geometrisinin taşınımı ısı transferine etkisi araştırılacaktır. Yerleştirilecek olan yarım küre engellerin çapları arasındaki mesafe 15,0 mm ve çap derinlikleri (1,5; 2,5 ve 3,5) olacak şekilde değiştirilerek engel çapının ve derinliklerinin ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenecektir. Ani genişleme oranında ise  $D_2/D_1=1,4, 2,0$  ve  $2,5$  oranları olacak şekilde çıkış kanalının çapı  $D_2=20$  mm olarak sabit tutulacak, giriş kanalının çapı bu oranlara bağlı olarak  $D_1=8, 10$  ve  $14$  mm olacaktır. Sayısal çalışmalardan elde edilen en iyi ısı transferi performansını sağlayan çap, derinlik ve ani genişleme oranı için kanal üretimi yapılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilecek ve yapılan sayısal çalışmalardan elde edilen veriler deneysel çalışmadan elde edilen veriler ile karşılaştırılacaktır.

Yukarıdaki ifadeler ile belirtilmeye çalışılan kanal içerisindeki nanoakışkan akışı, MHD ve çukur kanatçıkların/engellerin kullanımı üzerine literatürde ayrı ayrı çalışılmış olsa da bu üç konu bir arada deneysel olarak çalışılmamıştır. Literatürde bu harmanlanmış konuya en yakın çalışmalar manyetik alan etkisi varlığında kanal cidarı işlenmiş kanallar içerisindeki nanoakışkan akışını kapsamaktadır. Manyetik alan indüksiyonu, kanatçık ve nanoakışkanların birlikte kullanıldığı sistemlerin karmaşık yapıya sahip

olması bu alanda yapılması muhtemel çalışmalarını kısıtlamaktadır. Literatürde çok az sayıda yer alan çalışmalara bakıldığında; Larimi vd. (2016) sayısal olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında,  $Fe_3O_4/su$  nanoakışkanının iç cidarı düzgün olmayan bir kanaldaki hidro-termal özelliklerini enine manyetik alan altında incelemişlerdir. Çalışmalarda çift fazlı karışım modeli ve kontrol hacmi tekniğini kullanılmıştır. Sonuçlar, manyetik alanın kanaldaki Nu sayısını artırmada beklenmeyen bir etkisi olduğunu ve manyetik alanın gücünü arttırmanın özellikle nervürlü bölgelerde minimum ve maksimum yerel Nu sayılarında bir artışa neden olduğunu göstermişlerdir. Aghakhani vd. (2019), çalışmalarında, sabit bir manyetik alanın etkisi altında, genişletilmiş yüzeylere sahip bir kanal içerisindeki  $Al_2O_3-su$  nanoakışkan akışını ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma geometrisi dikdörtgen kesitli kanalın alt cidarına yerleştirilen iki paralel plaka ve sabit sıcaklıkta beş engelden oluşmuştur. Kanalın alt yüzeyinden radyal olarak  $B_0$  manyetik alan indüksiyonu uygulanmıştır. Çalışmada Re sayısı, Hartmann (Ha) sayısı, nanopartiküllerin hacimsel konsantrasyonu, engellerin yüksekliği, engellerin uzunluğu ve engeller arasındaki mesafelerin taşınımıyla gerçekleşen ısı transferi üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, ısı transfer hızı Re sayısı ile artmıştır. Ha sayısı ve nanoparçacık hacim konsantrasyonu arttıkça, taşınımıyla gerçekleşen ısı transfer hızında artış gözlemlenmiştir. Mei vd. (2019),  $800 < Re < 12000$  ve  $0 < G < 300$  G aralığında dairesel kesitli bir mikrokanaal içerisinde akan  $Fe_3O_4/su$  nanoakışkanının ısı transferi karakteristiklerinin nasıl etkilendiğini deneysel olarak araştırmışlardır ve taşınımıyla gerçekleşen ısı transferi artışının, yüksek nanopartikül kütle konsantrasyonuna ve yüksek manyetik alan indüksiyonuna karşı duyarlı olduğu belirtilmiştir.

Dairesel boru ve düz kanallarda akışkan akışı ve ısı transferi üzerine gerçekleştirilen çalışmaların yanı sıra ani genişlemeli kanallarda da ısı transferi performansının artırılmasına yönelik yapılan çalışmalar göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Akışkan akışındaki ayrılma akış geometrisindeki ani bir değişim ile oluşturulabilir. Bu gerçeğe bağlı olarak ani genişlemeler; mekanik, kimyasal, sivil ve nükleer sanayiler gibi geniş bir mühendislik uygulamaları aralığında kullanılmakla birlikte; gaz türbini motorları, yakıtlar, ısıtma ve soğutma, kalıptan çekme, serbest jetler ve ısı transferinin talep edildiği yerler gibi çok sayıda mühendislik uygulamalarının tasarımında önemli bir rol oynamaktadır (Manica vd. 2004; Kherbeet vd. 2014). Ani genişleyen kanalda, taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin, yeniden birleşme noktası gibi bazı kritik noktalarda çok yüksek değerlere ulaşabiliyor olması da bu konudaki araştırmaların artmasına neden olan etkenlerden biridir. Genel anlamda bir ani genişleyen kanal akışı, yaklaşan bir sınır tabaka, basamaktan sonra bir geri dönme bölgesi, bu bölgeden ayırıcı bir akım çizgisi ile ayrılan kayma tabakası, yeniden yapışma bölgesi ve takip eden bir kayma tabakasından oluşmaktadır (İlday ve Atlı, 2006). Şekil 2'de ani genişleyen kanal akışının genel yapısı detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 2. Ani genişleyen kanal akışının genel yapısı (İlday ve Atlı, 2006).

Ani genişleyen kanal akışının en karakteristik bağımlı değişkeni yeniden birleşme uzunluğudur. Akış karakteristikleri, genişleme oranı gibi faktörler akışın yeniden birleşme uzunluğunu etkileyen önemli faktörlerden bazılarıdır. Ani genişleyen kanal kullanılarak literatürde birçok sayısal ve deneysel çalışma yapılmıştır. Genişleme oranının yeniden birleşme noktasına etkisinin incelendiği bir çalışmada (Pulat ve Diner, 1999) kanal genişleme oranı 1,5 ve 2,0, Re sayısı ise 50 ve 150 olarak belirlenmiş ve sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Re sayısının artmasıyla yeniden birleşme uzunluğunun arttığı, aynı Reynolds sayısı için kanal genişleme oranının artmasıyla ise yeniden birleşme uzunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Selimefendiğil vd. (2019) çalışmalarında farklı açılarda genişleyen kanal içerisinde akan nanoakışkanın manyetik alan etkisi altındaki ısıl davranışını incelemişlerdir. Akış ayrılmasının  $0^\circ-90^\circ$  aralığında değişen açılarla gerçekleştiği tespit edilmiştir. Çalışmada Nu sayısının nanopartikül hacimsel konsantrasyonu ve Ha sayısına bağlı olarak artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, literatürde ani genişleyen kanal kullanılarak akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bazı önemli çalışmalar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik ani genişleyen kanal kullanılan örnek çalışmalar.

Referanslar	Metot	Parametreler	Akış Rejimleri	Çalışma Akışkanı
Pulat ve Diner (2001)	Sayısal	Re = 50-150 GO = 1,5 ve 2	Laminer	Hava
Le vd. (1995)	Sayısal	Re = 5100 GO = 1,2 ve 2,5	Türbülanslı	Saf Su
Lv vd. (2019)	Sayısal	Re = 3000; 4000; 5000 GO = 2	Türbülanslı	$SiO_2/su$
Selimefendiğil ve Öztıp (2015)	Sayısal	Re = 20-200 Ha = 0-50	Laminer	Cu/Su
Tihon vd. (2012)	Deneysel ve Sayısal	GO = 1,43; 2; 2,5 ve 4	Laminer	Saf Su
Kherbeet vd.	Sayısal	$0,05 \leq Re \leq 0,5$	Laminer	$Al_2O_3$ ; CuO;

(2012) Mehrez (2009)	vd.	Sayısal	GO = 2 Re = 33000 Ri = 0,5 0 ≤ Sts ≤ 2	Türbülanslı	SiO <sub>2</sub> ; ZnO/EG Saf Su
Goharzadeh ve Rodgers (2009)		Deneyisel	50 ≤ Re ≤ 600	Laminer	Saf Su
Abu-Nada (2008)		Sayısal	GO = 1,4 ve 1,6 200 ≤ Re ≤ 600	Laminer	Cu, Ag, CuO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> /Su
Keating (2004)	vd.	Sayısal	GO = 2 Re = 28000 GO = 1,25	Türbülanslı	Saf Su

**Tablo 2'**de görüldüğü üzere, yapılan çalışmalarda genişleme oranı değeri en az 1,2 en fazla ise 4 olarak alınmıştır. Dolayısıyla, literatürde sıklıkla çalışılan değerler baz alınarak proje kapsamında yapılacak olan deneysel ve sayısal çalışmalarda genişleme oranı 1,4; 2,0 ve 2,5 olarak belirlenmiştir.

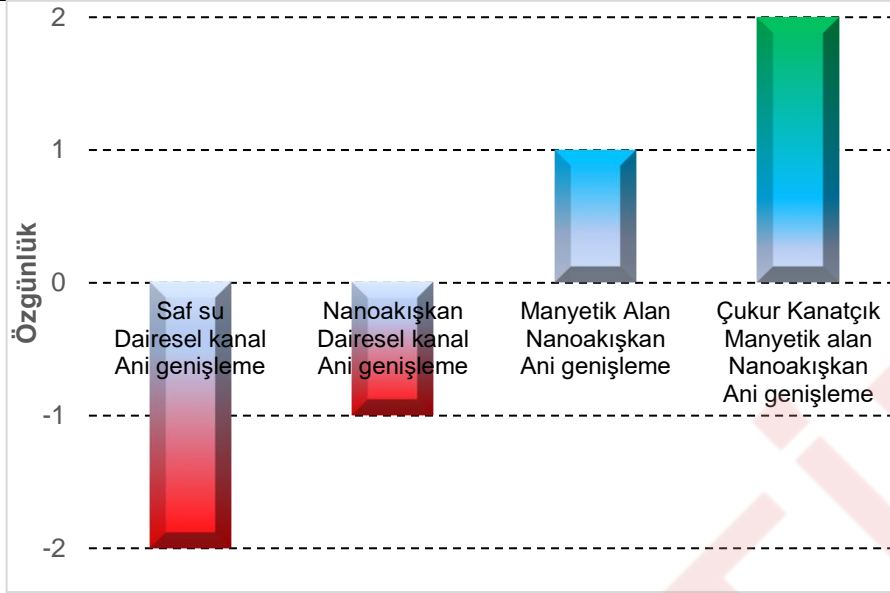
#### 4. ÖZGÜN DEĞER

Proje önerisinin, özgün değeri (bilimsel kalitesi, farklılığı ve yeniliği, hangi eksikliği nasıl gidereceği veya hangi soruna nasıl bir çözüm geliştireceği ve/veya ilgili bilim/teknoloji alan(lar)ına metodolojik/kavramsal/kuramsal olarak ne gibi özgün katkılarda bulunacağı vb.) ayrıntılı olarak açıklanmalıdır.

Yapılan literatür araştırmasından da görüldüğü üzere hem dairesel boru hem de ani genişleyen kanal içerisindeki farklı tipteki nanoakışkan akışları geçmişte detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca, günümüzde farklı kesitlerdeki kanallar içerisindeki nanoakışkan akışına manyetik alan uygulanmasının etkisi incelenmeye değer bir konu olarak karşımıza çıkmakta ve yapılan çalışmalar devam etmektedir. Literatür araştırmasına göre kanal içerisine yerleştirilen çukur kanatçıkların kullanıldığı ve harici manyetik alanın etkilediği ferro-nanoakışkan akışının taşınımıyla gerçekleşen ısı transferine etkisine ait araştırmanın henüz yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenle, ısı transfer akışkanı olarak ferro-nanoakışkanın kullanılacağı çalışmada önce yüzeyinde herhangi bir kanatçık bulunmayan ani genişlemeli kanalın ardından yüzeyinde farklı çaplarda, derinliklerde ve mesafelerde çukur kanatçıklar yerleştirilmiş ani genişlemeli kanalın laminar akış şartlarında manyetik alan etkisi altındaki akış ve ısı transferi karakteristikleri detaylı olarak incelenecektir. Böylece, literatürdeki bu boşluğu doldurulması amaçlanmaktadır.

Sonuç olarak; önerilen projenin özgün değeri aşağıdaki ana başlıklar altında detaylı olarak açıklanmış ve **Şekil 3'**te de projenin özgünlüğü grafik olarak verilmiştir.

- **Sabit manyetik alan etkisinin incelenmesi:** Düz ve pürüzlü yüzeylere sahip dairesel ve ani genişleyen kanal içerisindeki ferro-nanoakışkan akışının davranışı deneysel ve sayısal olarak detaylı bir şekilde incelenecektir. 1000 ≤ Re ≤ 2000 Laminer akış şartlarında ferro-nanoakışkan için yapılan çalışmalar MHD akış şartları için tekrarlanarak, akışa manyetik alan uygulamasının akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri belirlenecektir. Manyetik alan şiddeti  $B_0=0,01, 0,03, 0,05; 0,1, 0,3$  ve  $0,5T$  değerlerinde uygulanacaktır. Bu kapsamda, literatürde mevcut olmayan bir çalışmadan elde edilecek deneysel ve sayısal sonuçlar literatüre kazandırılacaktır.
- **Farklı genişleme oranları:** Kanatçık yapıları belirlenmiş en iyi ısı transferi performansını sunan ani genişlemeli kanal için genişleme oranının etkisini belirleyebilmek amacıyla üç farklı genişleme oranının ( $D_2/D_1= 1,4; 2,0$  ve  $2,5$ ) kullanılacak olması projenin bir diğer önemli özgün değeri olacaktır.
- **Dairesel ve ani genişleyen kanal yüzeyine uygulanan pürüzlülük etkisinin incelenmesi:** Sabit manyetik alan etkisi altındaki pürüzlü yüzeye sahip dairesel ve ani genişleyen kanal içerisindeki farklı çukur kanatçık çapları (3,0; 5,0 ve 6,0 mm), derinlikleri (1,5; 2,5 ve 3,5) ve 15,0 mm engel mesafelerinin akış ve ısı transferi karakteristiklerine etkisi sayısal olarak incelenecektir. Farklı konfigürasyonlar için yapılan sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlar neticesinde en iyi ısı transfer performansını sağlayan pürüzlü yüzeye sahip dairesel ve ani genişlemeli kanalların üretimleri yapılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilecektir. Bu konu çalışmanın bir başka özgünlüğünü oluşturmaktadır.



Şekil 3. Çalışmanın özgünlük grafiği.

Şekil 3.'de yukarıda açıklaması yapılan özgün değerler özet bir biçimde ifade edilmeye çalışılmıştır. Şekilde negatif değerlerin özgünlüğü azalan, pozitif değerlerin ise özgünlüğü artan bir eğilimde olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte çalışılan konulara göre renk değişimleri de sırasıyla şu şekilde verilebilir: **Kırmızı: Konunun temelleri oturtulmuş literatürde bilinen oldukça yaygın çalışmalar**, Gri: Literatürde bilinen ve aynı zamanda çalışmaların devam ettiği konular, **Mavi: Yeni ve güncel çalışmaların yapıldığı, günümüzde de devam ettiği konular**, **Yeşil: Literatürde henüz gerçekleştirilmemiş olan çalışmalar**. Bu bağlamda, proje kapsamında yukarıda maddeler halinde de açıklanan şartlar için literatürde henüz yer almayan bu konular detaylı bir biçimde incelenecek ve bu alandaki boşluk doldurularak literatüre kazandırılmış olacaktır.

Proje kapsamında yapılacak faaliyetler neticesinde elde edilecek bilgi ve bulguların ısı transferinin önemli olduğu endüstrinin birçok alanında kullanım potansiyeline sahip olacağı öngörülmektedir. Örneğin, manyetik alan ve nanoakışkan kullanımıyla verimi artacak minimal radyatörler sayesinde araçların tasarımında inovasyonlara gidilerek araç aerodinamiği iyileştirilebilecektir. Buna bağlı olarak, daha düşük yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> salınımı ile hem enerji verimliliği hem de doğaya daha az zarar veren taşıtların üretimi sağlanabilecektir. Çalışma sonuçlarının kompakt elektronik parçaların tasarımı, soğutma sistemleri, mikro kanal soğutucuları, ısı değiştiricileri, kapalı devre ısıtma sistemleri, uzay araçları enerji depolama sistemleri, nükleer reaktörlerdeki soğutma sistemlerinde de kullanılabileceği öngörülmektedir.

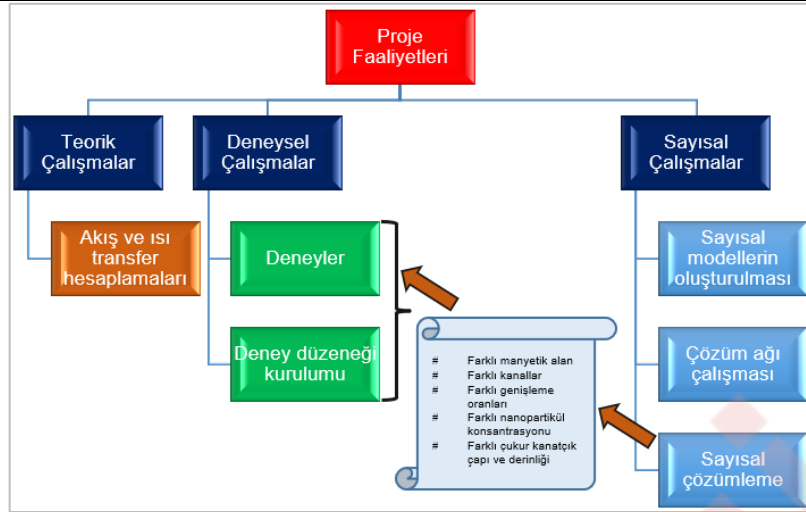
## 5. YÖNTEM

Projede uygulanacak yöntem ve araştırma teknikleri (veri toplama araçları ve analiz yöntemleri dahil) ilgili literatüre atıf yapılarak (gerekirse ön çalışma yapılarak) belirgin ve tutarlı bir şekilde ayrıntılı olarak açıklanmalı ve bu yöntem ve tekniklerin projede öngörülen amaç ve hedeflere ulaşmaya elverişli olduğu ortaya konulmalıdır.

Projede uygulanacak yöntem(ler)le ilerleme kaydedilememesi durumunda devreye sokulacak alternatif yöntem(ler) de belirlenerek açık bir şekilde ifade edilmelidir.

Proje kapsamında, düz ve pürüzlü yüzeylere sahip dairesel ve ani genişleyen kanal içerisindeki Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/su ferro-nanoakışkan akışının sabit manyetik alan etkisi altındaki taşınımıyla ısı transferi ve kanal içerisindeki basınç düşümüne etkileri detaylı olarak incelenecektir. Projenin özgün değeri, amaç ve hedefler kısmında ifade edilen çalışmalar kapsamında gerçekleştirilecek faaliyetler genel olarak **Şekil.4**'te verilmiş olup bunlara yönelik gerçekleştirilecek yöntemler detaylı bir şekilde aşağıda sunulmuştur.





Şekil 4. Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek genel faaliyetler.

### 5.1. Matematiksel Modelin Oluşturulması ve Sayısal Çalışmalar

Projenin ilk aşamasında manyetik alan varlığında ve yokluğunda akışı ifade eden denklemler ile matematiksel modeller oluşturulacaktır. Dairesel ve ani genişlemeli kanallara yönelik matematiksel modelleri oluşturulan problemlerin çözümünde belirlenen başlangıç ve sınır şartları için sayısal çözümler gerçekleştirilecektir. Sayısal çözümler için ANSYS Fluent yazılımı kullanılacaktır. Sayısal çözümler; laminar akış ( $1000 < Re < 2000$ ) şartlarında, düz ve pürüzlü yüzeyli ani genişlemeli kanallarda saf su ve ferro-nanoakışkan için ayrı ayrı yapılacaktır.

**Tablo 1**'de verilen tüm geometrik karakteristiklerde çalışma akışkanı olarak ferro-nanoakışkan kullanılan durumlarda akış  $B_0 = 0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,3$  ve  $0,5$  T manyetik alan etkisi altında incelenecektir. Sayısal analizler; sonlu elemanlar tekniğine dayalı çözümleme yapabilen ANSYS Fluent ile gerçekleştirilecektir. Fluent yazılımında ferro-nanoakışkan akışının modellenmesi için tek fazlı modeller, sabit manyetik alan etkisinin incelenebilmesi için ise MHD model kullanılacaktır. Tek faz yaklaşımı ile çözüm için nanoakışkanların fiziksel özellikleri baz akışkan ve nanoparçacığın ortalama sıcaklıktaki değerleri kullanılarak aşağıdaki denklemler sayesinde elde edilebilmektedir (Pak, B. C. ve Cho, Y. I., 2007; Hamilton, R. L. ve Crosser, O. K., 1959; Xuan, Y. ve Roetzel, W., 2000; Wang, X. ve Xu, X., 1999)

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_{np} \quad (1)$$

$$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = \frac{k_{np} + 2k_{bf} - 2\phi(k_{bf} - k_{np})}{k_{np} + 2k_{bf} + \phi(k_{bf} - k_{np})} \quad (2)$$

$$c_{p_{nf}} = \frac{(1 - \phi)(\rho c_p)_{bf} + \phi(\rho c_p)_{np}}{\rho_{nf}} \quad (3)$$

$$\mu_{nf} = (1 + 7.3\phi + 123\phi^2)\mu_{bf} \quad (4)$$

Burada,  $b_f$  baz akışkanı,  $n_f$  nanoakışkanı,  $n_p$  nanoparçacığı,  $\rho$  yoğunluğu,  $\phi$  nanoakışkan hacimsel oranını,  $c_p$  ısı kapasiteyi ve  $\mu$  ise dinamik viskoziteyi temsil etmektedir. Su ve  $Fe_3O_4$  nanoparçacıklarının yığın sıcaklıktaki termodinamik özellikleri ise **Tablo 3**'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Su ve  $Fe_3O_4$  nanoparçacıklarının termodinamik özellikleri (Ravi Kumar vd. 2017; Ham vd. 2022; Ejlali vd. 2009; Amani vd. 2017)

Akışkan Özellikleri	Su	$Fe_3O_4$
Yoğunluk, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	998	5,180
Isıl Kapasite, $c_p$ (J/kgK)	4,182	670
Termal İletkenlik, $k$ (W/mK)	0.6	80.4
Dinamik Viskozite, $\mu$ (kg/ms)	$1e^{-3}$	-

İletmeyen akışkanlar için basitleştirilmiş Maxwell denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (6)$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{M} + \vec{H}) \quad (7)$$

Burada  $\vec{B}$  manyetik indüksiyonu,  $\vec{H}$  manyetik alan vektörünü,  $\vec{M}$  mıknatıslanma vektörünü temsil etmektedir ve mıknatıslanma vektörü ile manyetik alan vektörü aşağıdaki denklemdeki gibi bağlantılıdır;

$$\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{H}} \quad (8)$$

$\mu_0$  uzay boşluğunun manyetik geçirgenliği olup manyetik geçirgenlik sabitidir.  $\mu_r$  da belirli bir ortamın manyetik geçirgenliğinin manyetik geçirgenlik sabitine oranıdır.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \approx 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ (H/m)} \quad (9)$$

$$\mu_r = \frac{\eta}{\eta_0} \quad (10)$$

Sıkıştırılmaz, kararlı hal akışlarında manyetik alan altında tek faz ve çift faz için kütle, momentum, enerji denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (11)$$

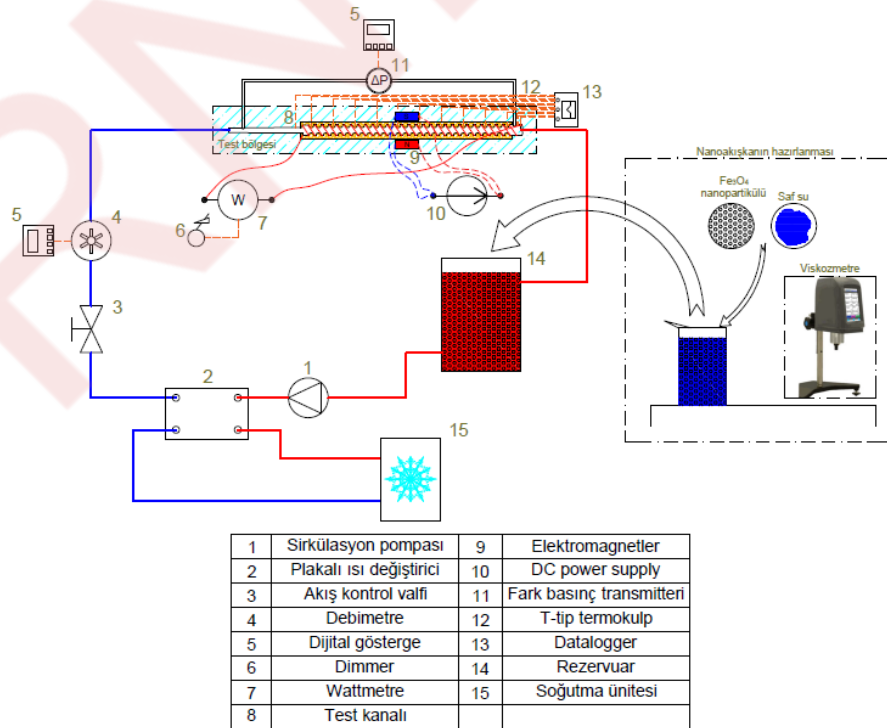
$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\Delta p + \eta \nabla^2 \vec{V} + \nabla \tau - S_p + \alpha \rho g (T - T_0) k + (\vec{M} \cdot \nabla) \vec{B} \quad (12)$$

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = k \nabla^2 T + \eta \phi - \mu_0 T \frac{\partial \vec{M}}{\partial T} ((\vec{V} \cdot \nabla) \vec{H}) \quad (13)$$

Burada,  $\vec{V}$  akış hızını,  $p$  statik basıncı,  $\tau$  stres tensörünü,  $S_p$  akışkan ile nanoparçacık arasındaki momentum transferini temsil eden kaynak terimini,  $T$  akışkan sıcaklığını,  $t$  zamanı,  $\eta$  viskoziteyi,  $\phi$  viskoz kaybı temsil etmektedir.

## 5.2. Deney Düzenekinin Oluşturulması:

Projenin bu bölümünde projenin amaç ve hedeflerine uygun olarak tasarımı yapılan (**Şekil 5**) deney düzenekinin imalatı ve kurulumu gerçekleştirilecektir.



**Şekil 5.** Deney düzenekinin şematik görünümü.

Kurulumu yapılacak deney düzeneğinin temel bileşenleri pompa ve borulama sistemi, test bölgesi, elektromanyetik cihaz, soğutma ünitesi ve ölçüm elemanları olup bunlar ve deney düzeneğinde kullanılacak diğer ekipmanlar tek tek aşağıda açıklanmıştır.

- a) Pompa:** Akışın sağlanabilmesi için yaklaşık 2 lt/dk debi kapasiteli pompa gücü öngörülmüştür. Bu hesaplama Re sayısının en yüksek seviyesi (2000) için ulaşılması gereken 0.165 m/s ortalama hız değeri üzerinden yapılmıştır.
- b) Test Bölgesi:** Deney düzeneği test bölgesinin en önemli ekipmanı test kanalıdır. Test kanallarının üretimi için sayısal çalışma sonuçlarından faydalanılacaktır. Örneğin, çukur kanatçık yapısına sahip ani genişlemeli kanal için genişleme oranı  $D_2/D_1=2,0$ , kanatçık çapı 5,0 mm, kanatçık derinliği 2,5 mm ve kanatçık arası mesafe 15 mm olan durumun en iyi PDK değerini sunduğu varsayılınsın. Bu durumda belirtilen boyutlara sahip ani genişlemeli kanal üretimi yapılacaktır. Kanal üretimlerinde çukur kanatçık yapılarını elde edebilmek için kanallar bir dişi bir erkek kalıp içerisine yerleştirilecek, üretilen yivli pimlerin erkek kalıp içerisine montajı sağlanarak aksel ve radyal yönde uygulanan kuvvetler ile çukur kanatçık yapısı kanallar üzerinde elde edilebilecektir. Üretilen dairesel ve ani genişleyen kanallar manyetiklenme özelliği olmayan alüminyum malzemeden imal edilecektir. Literatür incelendiğinde ikinci kanal/birinci kanal uzunluk oranının **Mehrez ve Cafsı (2019); Hussain & Ahmed (2019)** gibi birçok araştırmacı tarafından yaklaşık olarak 3 olarak alınması sebebi ile yapılacak çalışmada kanal uzunlukları oranı 3 olarak belirlenmiştir. Kanal uzunluk oranlarının literatüre benzer olması için giriş borusu uzunluğu 37,5 cm, genişleyen kısım uzunluğu ise 112,5 cm olarak imal edilecek ve toplam kanal uzunluğu 1,5 m olacaktır.
- c) Elektromanyetik Cihaz:** Proje kapsamında öngörülen deneylerde manyetik alan altında akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenebilmesi için elektromanyetik cihaz deney düzeneğinde yer alan önemli ekipmanlardan biridir. Bu kapsamda daha önceden sonuçlandırılmış olan **217M978 kodlu TÜBİTAK projesi** kapsamında oluşturulan deney düzeneğinde kullanılan manyetik alan üretici cihazı kullanılacaktır. Manyetik alan sağlayıcı özel olarak bu amaçla tasarlanmış 4 ana bileşenden oluşturulmuştur. Bu bileşenler; güç kaynağı, dalga üretici, yüksek güç yükseltici ve elektromıknatis bobindir. Elektromıknatis bobin, istenen manyetik alan şiddetine ve uniform bir manyetik alan dağılımına ulaşılabilmek için Helmholtz bobini, içinde 2 cm çapında silindirik saf demir çubuk kullanılarak üretilmiştir. Bobin 3000 sarımdan oluşmakta olup, direnci 28  $\Omega$ 'dur. 1 A akım başına 160 mT manyetik alan şiddeti üretebilmektedir.
- d) Soğutma Ünitesi:** Deney düzeneğinde test kanalına giriş sıcaklığını sabit tutmak için test kanalından sıcaklığı artmış bir şekilde çıkan çalışma akışkanı soğutulacaktır. Sıcaklık farkı, en yüksek Re sayısı için en fazla 1 °C olacağı varsayılarak 10 lt kapasiteye sahip 1 lt/s debinin sıcaklığını sabit tutabilecek 3 kW kapasiteli soğutmalı su banyosu tercih edilmiştir.
- e) Nanoakışkan:** Sayısal analizlerde  $\phi=1,0$  ve  $2,0$  konsantrasyonundaki  $Fe_3O_4/su$  nanoakışkanı termofiziksel özellikleri kullanılarak çözümler gerçekleştirilecektir. Yürütülecek sayısal çalışmalar sonucunda en yüksek PDK değerini sağlayan nanoakışkan konsantrasyonu için nanoakışkan hazırlama işlemi yapılacaktır. İhtiyaç duyulan nanopartikül miktarı en iyi sonucun  $2,0$  konsantrasyona sahip  $Fe_3O_4/su$  nanoakışkanı çıkması durumunda yaklaşık 50 gr.  $Fe_3O_4$  nanopartikülünün kullanılması ön görülmektedir. İhtiyaç duyulan bu miktar yurtiçi firmalardan karşılanacaktır.
- f) Ölçüm Elemanları ve Diğer Ekipmanlar**
- Ayarlanabilir transformatör ve ısıtıcı eleman, yalıtım malzemesi:** Deney düzeneğinde test kanalı yüzeyine 600 W aralığında tek bir değer olarak sabit ısı akısı uygulanacaktır. Isı akısı uygulamasında manyetik alandan etkilenmemesi için bakır veya nikelten yapılmış ısıtıcı eleman/kablo tercih edilecektir. Isıtıcı eleman boyutları deneysel çalışmada kullanılacak test kanalı için hesaplanacak olup yaklaşık 15 m boyunda 0,6 mm kalınlığında olması öngörülmektedir. Ani genişlemeli kanallar için ısı akısı ikinci kanal yüzeyine uygulanacaktır. Uygulanan ısı akısı değeri ayarlanabilir transformatör ile kontrol edilecek ve Wattmetre ile değeri ölçülebilecektir. Ayrıca, ısı kaybının önlenmesi için kanal üst yüzeyi cam yünü yalıtım malzemesi ile kaplanacaktır.
- Isıl çiftler:** Deneysel çalışmalar sırasında, kanal yüzeyinin ve çalışma akışkanlarının test kanalına giriş ve çıkış yığın sıcaklıkları ölçülecektir. Kanal uzunluğu boyunca kanal yüzeyi üzerinde 10 farklı noktaya yerleştirilecek T-tipi ısı çiftler aracılığıyla sıcaklık değerleri ölçülecektir. Bu sayede, kanal yüzeyinin ortalama sıcaklık değeri elde edilecektir. Bunun yanında, 1 adet T-tipi ısı çifti kanal üzerine sarılacak yalıtım malzemesinin iç ve dış yüzeylerine yerleştirilerek kanal yüzeyinden dış ortama kaybolan ısı transfer hızı belirlenecektir. Ayrıca, 1 adedi kanal giriş kesitine, 3 adedi ise kanal çıkış kesitine yerleştirilecek olan T-tipi ısı çiftleri yardımıyla nanoakışkanın kanala giriş ve çıkış kesitlerindeki ortalama akışkan sıcaklık değerleri elde edilecektir. 1 adet T-tipi ısı çifti ise laboratuvar ortam sıcaklığının ölçümü için kullanılacaktır. Isıl çiftlerden ölçülen değerler dijital veri toplayıcıya (datalogger) aktarılacak ve okunacaktır.
- Debimetre:** Kanal içi ortalama akışkan hızı borulama sistemi üzerinde yer alan kontrol vanaları yardımıyla ayarlanacaktır. Kanal içerisindeki akış debisinin değeri deney sistemi üzerine yerleştirilecek bir 0.3-6 lt/dk (laminer akış şartları için) plastik gövdeli türbin tipi debimetre yardımıyla ölçülecek ve ölçüm değeri dijital gösterge üzerinden okunacaktır.
- Fark basınç transmitterleri:** Kanal giriş ve çıkışı arasındaki basınç kayıplarını hesaplayabilmek için bu noktalar arasında fark basınç transmitterleri yerleştirilecektir. Elde edilen değerler dijital gösterge vasıtasıyla okunacaktır.
- Gaussmetre:** Manyetik alan indüksiyonu ölçümünde kullanılacaktır.
- Viskozmetre:** İstenilen konsantrasyona sahip nanoakışkan için yurtiçi firmalardan alınan  $Fe_3O_4$  nanopartikülünün saf su içerisine katılmasının ardından akışkana ait viskozitenin ölçümü için kullanılacaktır. Bu değer ölçülmesi deneysel sistemden elde edilecek sıcaklık ve akış değerleri ile birleştirilip ısı ve termodinamik hesaplamalar yapıldıktan sonra akışkanın akış karakteristiği belirlenebilecektir.

### 5.3. Deneylerin Yapılması

Projenin ikinci aşamasında sayısal çalışmalar sonucu elde edilen en iyi ısı performansını sağlayan ani genişleyen pürüzlü yüzeye sahip dairesel kanal ve şartları için deneysel çalışmalar yapılacaktır. Deneysel çalışmalar laminar zorlanmış taşınım şartları altında ( $1000 < Re < 2000$ ) gerçekleştirilecek olup, çalışma akışkanı olarak yine en iyi ısı performansını sağlayan konsantrasyona sahip nanoakışkan kullanılacaktır. Deney sırasında manyetik alanın uygulanmadığı ve uygulandığı durumlar için analizler gerçekleştirilecektir. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde genellikle pürüzsüz kanal içerisindeki nanoakışkan akışına 0,04T-0,332T aralığında değişen büyüklüklerde manyetik alan uygulanmış olduğu saptanmıştır (**Bin Sun vd. (2020)** 0,04T; **Bahiraei vd. (2018)** 0,6T; **Jafari vd. (2020)** 0,05T-0,09T; **Wang vd. (2019)** 0,332T; **Shyam vd. (2019)** 0,108T; **Shi vd. (2019)** 0,08T; **Zonouzi vd. (2018)** 0,35T; **Guzei vd. (2017)** 0,3T; **Mehrali vd. (2017)** 0,332T; **Karamallah vd. (2016)** 0,1T-0,3T; **Azizian vd. (2014)**

0,3T; Lajvardi vd. (2010) 0,08T-0,12T). Dolayısıyla, gerçekleştirilecek nanoakışkan deneylerinde 0,01T; 0,03T; 0,05T; 0,1T; 0,03T ve 0,5 T büyüklüklerinde akışa dik yönde sabit manyetik alan uygulanacaktır. Bir manyetik alan için tüm akış rejimleri analiz edildiğinde diğer manyetik alan büyüklüğü için analizler yapılacaktır.

Yapılacak her bir deneyde genel olarak **Şekil.5** ile verilen deney düzeneğinde de görüldüğü gibi pompa tarafından akışkan hareketi sağlanacak ve akış kontrol valfi aracılığı ile de debi değiştirilebilecektir. İstenilen debi şartlarında akışı sağlanan çalışma akışkanının test kanalına girişi sağlanacaktır.  $D_2=20$  mm alüminyum kanal yüzeyine 600 W değerinde sabit ısı akısı uygulanacak test kanalı çıkışında yığın sıcaklığı artacak olan çalışma akışkanı plakalı bir ısı değiştirici aracılığıyla soğutmalı su banyosu ile soğutulacaktır. Bu sayede, akışkanın test giriş şartlarında aynı sıcaklıkta sabit tutulması sağlanmış olacaktır. Rezervuarda toplanacak akışkan, pompa yardımı ile tekrar test kısmına girecek ve kapalı çevrim sağlanmış olacaktır. Test düzeneğinde, fark basınç ölçer, ısı çiftler, Gaussmetre ve debimetre aracılığı ile ölçülen basınç, sıcaklık, manyetik alan büyüklüğü ve debi parametreleri ile akış ve ısı transferi karakteristiklerinin (Basınç düşümü-Darcy sürtünme faktörü, ısı taşınım katsayısı-Nu sayısı) belirlenmesine yönelik ısı transferi hesaplamaları ve elde edilen veriler kullanılarak da termodinamik analizler gerçekleştirilecektir. Yapılacak bu teorik hesaplamalar ile ilgili detaylar izleyen başlıkta verilmiştir.

#### 5.4. Isıl ve Termodinamik Hesaplamalar

Deneyel çalışmalardan elde edilen test kanalı giriş ve çıkış sıcaklıkları ile yüzey sıcaklık değerleri kullanılarak ortalama ısı taşınım katsayısı ve  $Nu$  sayısı değerleri hesaplanacaktır. Benzer şekilde, kanal giriş ve çıkışına yerleştirilecek dijital manometreler kullanılarak elde edilecek basınç düşümü ve kanal içerisindeki akış debisi değerleri ile Darcy sürtünme faktörü değerleri elde edilecektir. Taşınım ısı transferi katsayısı ve Nusselt sayıları kanal içerisindeki akış şartlarında ısı performansı bulmak için en önemli verilerdir ve aşağıdaki denklemlerdeki gibi ifade edilmektedir;

$$q'' dx = \dot{m} dh \quad (1)$$

$$\bar{h}_{nf} = \frac{q''}{(T_w - T_b)_{avg}} \quad (2)$$

$$T_b = \frac{T_{in,nf} + T_{out,nf}}{2} \quad (3)$$

$$Nu_{nf} = \frac{\bar{h}_{nf} D_h}{k_{nf}} \quad (4)$$

Burada  $(T_w - T_b)_{avg}$  kanalın giriş ve çıkış kesitleri arasındaki ortalama akışkan sıcaklığı ile duvar sıcaklığının doğrusal ortalama farkını,  $\bar{h}$  taşınım ısı transferi katsayısını,  $D_h$  hidrolik çapı,  $k$  ısı iletim katsayısını, alt indis  $nf$  nano-akışkanı ve  $q''$  ısı akısını temsil etmektedir.

Reynolds sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Incropera ve DeWitt, 2007):

$$Re_D = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (5)$$

Darcy sürtünme faktörü ise Eşitlik (6) ile hesaplanır (Incropera ve DeWitt, 2007).

$$f = \frac{\Delta P}{L \rho V^2} \cdot \frac{2D_h}{\rho V^2} \quad (6)$$

Deney sisteminde kullanılacak ölçüm cihazlarının, ölçüm hassasiyet oranları göz önünde bulundurularak yapılacak deneyler sonucunda elde edilecek sonuçlar ile hata analizi yapılacaktır. Kullanılacak cihazların hata oranları satın alınacak firmalardan temin edilecek ve her bir değişken için Eşitlik (7) ile verilen sonuç fonksiyonunu oluşturacaktır (Holman, 2011).

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (7)$$

$W_R$  toplam sonucun,  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  değişkenlerin hata analizi olmak üzere genel hata oranı Eşitlik (8) kullanılarak hesaplanacaktır (Holman, 2011).

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{0,5} \quad (8)$$

## 6. PROJE YÖNETİMİ, EKİP VE ARAŞTIRMA OLANAKLARI

### 6.1. BAŞARI ÖLÇÜTLERİ VE RİSK YÖNETİMİ

Projenin tam anlamıyla başarıya ulaşmış sayılabilmesi için **İş-Zaman Çizelgesinde** yer alan her bir ana iş paketinin hedefi, başarı ölçütü (ne ölçüde gerçekleşmesi gerektiği) ve projenin başarısındaki önem derecesi aşağıdaki **Başarı Ölçütleri Tablosunda** belirtilmelidir.

**BAŞARI ÖLÇÜTLERİ TABLOSU (\*)**

İP No	İş Paketi Hedefi	Başarı Ölçütü (%, sayı, ifade, vb.)	
-------	------------------	--	--



			Projenin Başarısındaki Önemi (%)**
1	Literatür güncelleme ve teorik modelin oluşturulması	Bu iş paketinin hedefi; pürüzlü ve pürüzsüz yüzeylere sahip dairesel ve ani genişleme kanal geometrilerinin detaylandırılarak akış ve ısı transferi karakteristiklerine ait matematiksel modellerin oluşturulmasıdır.	%5
2	Sayısal çalışmaların yapılması	Ani genişleme geometrisinde manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkanın sayısal olarak ısı ve akış karakteristiğine etkisinin incelenmesi, Tüm analizler ( $1000 \leq Re \leq 2000$ ) aralığında 3 farklı Re değerlerinde, farklı akışkanlar ve farklı modeller için gerçekleştirilecektir.	%15
3	Sayısal çalışma sonucuna göre deneylerde kullanılacak ekipman ve malzemelerin temini	Deney düzeneği için gerekli deneysel ekipmanların tedarik edilmesi.	%10
4	Deney düzeneğinin oluşturulması	Bu iş paketinin temel hedefi, literatürde benzer özellikteki deneysel çalışmalar incelenerek deney düzeneğinin tasarımı ve kurulumunun yapılmasıdır. Ekipmanların doğru çalıştığına kontrolü. Deney düzeneğinin bir bütün olarak çalışması.	%15
5	Deney sisteminin doğrulanması	Saf su deneyleri deneysel ve sayısal sonuçlar arasında %10 dan daha küçük değerlerde uyumluluk	%25
6	Deneylerin gerçekleştirilmesi	Ani genişleme geometrisinde manyetik alan etkisi altındaki nanoakışkanın deneysel olarak ısı ve akış karakteristiğine etkisi	%30

(\*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

(\*\*) Sütun toplamı 100 olmalıdır.

Projenin başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek riskler ve bu risklerle karşılaşıldığında projenin başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (**B Planı**) ilgili iş paketleri belirtilerek ana hatlarıyla aşağıdaki **Risk Yönetimi Tablosunda** ifade edilmelidir.

#### RİSK YÖNETİMİ TABLOSU (\*)

İP No	En Önemli Risk(ler)	B Planı
1	Makine teçhizat, laboratuvar ekipman vb. teminlerinde yaşanabilecek olumsuzluklar	Böyle bir durumla karşılaşıldığında diğer tedarikçilerle irtibata geçilerek sorun aşılmasına çalışılacaktır. Alternatifli makine ve ekipman tedarikçisi listesi oluşturularak yaşanabilecek aksaklıkların önüne geçilmesi planlanmaktadır. Alınacak ekipmanlar ve malzemelerin tedarikçileri ülkemizde sınırlı sayıda değildir. Döviz bazında yaşanacak artışların planlanan ödeme limitlerini etkileyebileceği düşünüldüğü için

		mümkün olduğu ölçüde yerli tedarikçilerden ürünler temin edilmeye çalışılacaktır.
2	Saf su ile doğrulama deneylerinde yaşanabilecek olumsuzluklar bir risk olarak belirlenmiştir. Örneğin, saf su ile yapılan ön deneylerden alınan sonuçlarla literatürdeki korelasyonlar $\pm\%10$ hata payı içinde uyuşmaması durumu.	Böyle bir durum ile karşılaşıldığında deney düzeneğindeki her bir ekipmanın kalibrasyonu tekrar yapılarak doğru bir şekilde çalıştığı kontrolü dikkatli bir şekilde yapılacaktır. Gerektiği durumda Fakülte ve Üniversite içinde deneysel tecrübe sahibi olan diğer akademik ve/veya teknik personelin görüşü alınacak ve deneyler belirlenen hata payı aralığında kalana kadar tekrarlanacaktır. Proje ekibinin edindiği bilgi ve tecrübeler ile bu riskin gerçekleşmesi düşük bir ihtimal olarak değerlendirilmektedir.
3	Ölçüm ekipmanlarında meydana gelebilecek arızalar	Sürekli kontrol ve periyodik bakımları yapılarak önüne geçilecektir.
4	Bu iş paketinin başarıya ulaşmış sayılabilmesi için belirlenen hedeflerde riskler bulunmamaktadır	Projeyi olumsuz etkileyecek herhangi bir risk bulunmamaktadır.

(\*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

### 6.1.1. PROJE ÖNERİ SAHİPLERİNİN GÖREV ALACAKLARI AŞAMALAR, SÜRELER

	Proje Öneri Sahipleri	Görev Alacakları Aşamalar	Ayıracağı Süre (%)
Proje Yürütücüsü		3, 4	%40
Proje Araştırmacısı 1		1, 2, 3, 4	%60

(\*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

(\*\*) Sütun toplamı 100 olmalıdır.

### 6.2. ARAŞTIRMA OLANAKLARI

Bu bölümde projenin yürütüleceği birimde/kurumda var olup da projede kullanılacak olan altyapı/ekipman (laboratuvar, araç, makine-teçhizat vb.) olanaklar aşağıdaki tabloda belirtilmelidir.

MEVCUT ARAŞTIRMA OLANAKLARI TABLOSU (\*)

Mevcut Altyapı/Ekipman Türü, Modeli (Laboratuvar, Araç, Makine-Teçhizat vb.)	Mevcut Olduğu Birim/Kurum	Projede Kullanım Amacı
Santrifüj pompa	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Sistemdeki gerekli akış rejimini sağlamak ve iş akışkanını hareket ettirmek amacıyla kullanılacaktır.
Küresel vanalar	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Akış rejimini ayarlamak amacıyla kullanılacaktır.
Depolama tankı	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Santrifüj pompaya bir emiş ortamı oluşturmak ve test sonrası iş akışkanını depolamak amacıyla kullanılacaktır.
T-tipi termokupl	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Test kanalı üzerindeki yüzey sıcaklıklarını ölçmek amacıyla kullanılacaktır.
Manyetik karıştırıcı	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Piyasadan satın alınacak nanoakışkanı homojen bir şekilde karıştırarak termofiziksel özelliklerini stabil hale getirmek amacıyla kullanılacaktır.
Veri kaydedici	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Test kanalında termokupllar yardımıyla ölçülen sıcaklık değerlerini elektronik ortama aktarmak amacıyla kullanılacaktır.
Elektromıknatıslar	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Manyetiklenme özelliği olan iş akışkanına manyetik alan uygulamak amacıyla kullanılacaktır.
DC güç kaynağı	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Elektromıknatısları enerjilendirmek amacıyla kullanılacaktır.
Dimmer	Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı	Kablo tipi ısıtıcıda üretilen ısının değerini ayarlamak amacıyla kullanılacaktır.

Soğutma ünitesi	Karabük Üniversitesi Mühendisliği Laboratuvarı	Enerji Bölümü	Sistemde ısınan iş akışkanını soğutarak iş akışkanını stabil bir değerde test kanalına göndermek amacıyla kullanılacaktır.
Gauss metre	Karabük Üniversitesi Mühendisliği Laboratuvarı	Enerji Bölümü	DC güç kaynağından ayarlanan amper (I) değerinin karşılık geldiği manyetik alan değerini (B) tespit etmek.

(\*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

## 7. PROJEDEN BEKLENEN YAYGIN ETKİ

Proje başarıyla gerçekleştirildiği takdirde projeden elde edilmesi öngörülen/beklenen yaygın etkilerin (bilimsel/akademik, ekonomik/ticari/sosyal, araştırmacı yetiştirilmesi ve yeni projeler oluşturulması) neler olabileceği diğer bir ifadeyle projeden ne gibi çıktı, sonuç ve etkilerin elde edileceği kısa ve net cümlelerle aşağıdaki tabloda belirtilmelidir.

**PROJEDEN BEKLENEN YAYGIN ETKİ TABLOSU**

Yaygın Etki Türleri	Projede Öngörülen/Beklenen Çıktı, Sonuç ve Etkiler
<b>Bilimsel/Akademik</b> (Makale, Bildiri, Kitap)	Çalışma kapsamında incelenecek olan ani genişleme oranı, çukur kanaat yapısı ve manyetik alanın ısı transferine etkisi literatürde henüz incelenmemiştir. Bu çalışma ile literatürdeki boşluk doldurulacaktır. Çalışmanın özgünlük değeri yüksek olup, bu konuda en az 2 adet uluslararası dergide yayın yapılması da hedeflenmektedir.
<b>Ekonomik/Ticari/Sosyal</b> (Ürün, Prototip Ürün, Patent, Faydalı Model, Üretim İzni, Çeşit Tescili, Spin-off/Start-up Şirket, Görsel/İşitsel Arşiv, Envanter/Veri Tabanı/Belgeleme Üretimi, Telif Konu Olan Eser, medyada Yer Alma, Fuar, Proje Pazarı, Çalıştay, Eğitim vb. Bilimsel Etkinlik, Proje Sonuçlarını Kullanacak Kurum/Kuruluş, vb. diğer yaygın etkiler)	Projenin tamamlanmasıyla birlikte ısı transferi olan tüm alanlarda manyetik alan yöntemi uygulanabilecek olup ısı transferi miktarı aynı alana rağmen artacaktır. Ek olarak manyetik alanın nanoakışkan akışında ısı transferi mekanizmasındaki rolünü çok daha iyi anlaşılacak, sanayide bu yöndeki girişimlere teşvik edici bir rol model olacaktır.
<b>Araştırmacı Yetiştirilmesi ve Yeni Proje(ler) Oluşturma</b> (Yüksek Lisans/Doktora Tezi, Ulusal/Uluslararası Yeni Proje)	Proje kapsamında 1 doktora öğrencisi tezini tamamlayarak, nanoakışkan ve manyetik alan altındaki ısı performans üzerine etkisi konusunda yeni araştırmacılar ülkemize kazandırılacaktır.

## 8. KAYNAKLAR

Bu bölümde, proje önerisinde yararlanılan kaynakların listesi aşağıdaki açıklamalara uygun olarak verilmeli ve bu kaynaklara metin içerisinde atıf yapılmalıdır.

Abu-Nada, E., 2008. "Application of nanofluids for heat transfer enhancement of separated flows encountered in a backward facing step", International Journal of Heat and Fluid Flow, 29(1), 242-249.

Aghakhani, S., Ghasemi, B., Hajatzadeh Pordanjani, A., Wongwises, S., Afrand, M. 2019. "Effect of replacing nanofluid instead of water on heat transfer in a channel with extended surfaces under a magnetic field", International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid, 29 4 1249-1271

Amani, M, Ameri, M. ve Kasaeian, A. "Investigating the convection heat transfer of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanofluid in a porous metal foam tube under constant magnetic field", Exp. Therm. Fluid Sci., c. 82, ss. 439-449, 2017.

Azizian, R., Doroodchi, E., McKrell, T., Buongiorno, J., Hu, L. W., Moghtaderi, B. 2014. "Effect of magnetic field on laminar convective heat transfer of magnetite nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, 68, 94-109.

Bin Sun, Yongjian Guo, Di Yang, Hongwei Li, The effect of constant magnetic field on convective heat transfer of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water magnetic nanofluid in horizontal circular tubes, Applied Thermal Engineering, Volume 171, 2020, 114920.

Bahiraie, M., Godini, A., Shahsavari, A., 2018. "Thermal and hydraulic characteristics of a minichannel heat exchanger operated with a non-Newtonian hybrid nanofluid", Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 84, 149-161.

Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T. 2012. "Mechanisms proposed through experimental investigations on thermophysical properties and forced convective heat transfer characteristics of various nanofluids-A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Choi, S. U. S. 1995. "Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian Flows", D.A. Siginer and H.P. Wang, eds, FED-Vol. 231/MD-Vol. 66, ASME, New York, 99-105.

- Dagdevir, T., Keklikcioglu, O., Ozceyhan V. 2019 "Heat transfer performance and flow characteristic in enhanced tube with the trapezoidal dimples", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 108.
- Eiamsa-ard, S., Wongcharee, K., Kunnarak, K. 2019. "Heat transfer enhancement of TiO<sub>2</sub>-water nanofluid flow in dimpled tube with twisted tape insert", *Heat and Mass Transfer*, 55 2987-3001.
- Ejlali, A, Hooman, K. ve Gurgenci, H. "International Communications in Heat and Mass Transfer 36 (2009) 674 – 679", c. 36, ss. 674–679, 2009.
- Gedik, E. 2012. "Silindirik borularda Manyetohidrokinematik akışın deneysel olarak incelenmesi ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile sayısal analizi" Doktora tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Goharzadeh, A., Rodgers, P., 2009. "Experimental measurement of laminar axisymmetric flow through confined annular geometries with sudden inward expansion", *J. Fluids Eng*, 131, 56-63.
- Guzei, D., Minakov, A., Pryazhnikov, M., Meshkov, K. 2017. "Investigating the forced convection of magnetic nanofluids". *Matec Web Conference*, 115,07001.
- Ham, J, Shin, Y. ve Cho H. "Comparison of thermal performance between a surface and a volumetric absorption solar collector using water and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanofluid", *Energy*, c. 239, 2022.
- Hartmann, J. 1937. *Theory of the laminar flow of an electrically conductive liquid in a homogeneous magnetic field*, (1th.ed.). Munksgaard
- Manica, R., De Bortoli, A.L. 2004. "Simulation of sudden expansion flows for power-law fluids", *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 121: 35-40.
- Hamilton, R. L. ve Crosser, O. K, "Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems", *Div. Ind. Engineering Chem.*, c. 1, sayı 3, ss. 187–191, 1959.
- Holman, J. P. 2011. "Experimental methods for engineers", Mc-Graw Hill, (8<sup>th</sup> edition), 62-6.
- Hussain, S., Ahmed, S.E., 2019. "Unsteady MHD forced convection over a backward facing step including a rotating cylinder utilizing Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-water ferrofluid". *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 484, 356-366.
- Incropera F. P., DeWitt D. P. 2007. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", (6th edition), Hoboken: Wiley.
- İlday, E., Atlı, V., 2006. "Geri basamak akışının deneysel incelenmesi", *ITU dergisi mühendislik*, 5(6), 27-38
- Jafari, H., Goharkhah, M., 2020. "Application of electromagnets for forced convective heat transfer enhancement of magnetic fluids". *International Journal of Thermal Sciences*, 157.
- Karabulut, K., Buyruk, E., Kılınc, F. 2019. "Farklı Çaplara Sahip Dairesel Borularda Grafen Oksit (GO)-Saf Su Nanoakışkanı Kullanımının Isı Transferi Artışı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt 11, Sayı:1.
- Karamallah, A.A., Habeeb, L.J., Asker, A.H. 2016." The Effect of Magnetic Field with Nanofluid on Heat Transfer in a Horizontal Pipe". *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 12, 3.
- Keating, A., Piomelli, U., Bremhorst, K., Nešić, S., 2004. "Large-eddy simulation of heat transfer downstream of a backward-facing step", *Journal of Turbulence*, 5, 37-41.
- Kherbeet, A.S., Mohammed, H.A., Munisamy, K.M., Saidur, R., Salman, B.H., Mahbubul, I.M. 2014. "Experimental and numerical study of nanofluid flow and heat transfer over microscale forward-facing step", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57: 319-329.
- Kherbeet, A.S, Mohammed, H.A, Salman, B., 2012. "The effect of nanofluids flow on mixed convection heat transfer over microscale backward-facing step", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(21-22), 5870-5881.
- Kumar, A., Maithani, R., & Suri, A. R. S. 2017. "Numerical and experimental investigation of enhancement of heat transfer in dimpled rib heat exchanger tube", *Heat and Mass Transfer*, 53(12), 3501–3516.
- Lajvardi, M., Moghimi-Rad, J., Hadi, I., Gavili, A., Dallali Isfahani, T., Zabihi, F., Sabbaghzadeh, J. 2010. "Experimental investigation for enhanced ferrofluid heat transfer under magnetic field effect". *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(21), 3508–3513.
- Larimi, M. M., Ghanaat, A., Ramiar, A., Ranjbar, A. A. 2016. "Forced convection heat transfer in a channel under the influence of various non-uniform transverse magnetic field arrangements", *International Journal of Mechanical Sciences*, 118, 101–112.
- Le, H., Moin, P., 1995. "Direct numerical simulation of turbulent flow over a backward-facing step", *Center for Turbulence*



Lv, J., Hu, C., Bai, M., Li, L., Shi, L., Gao, D., 2019. "Visualization of SiO<sub>2</sub>-water nanofluid characteristics in backward-facing step using PIV", *Exp. Thermal Fluid Science*, 101, 151-159.

Manay, E. 2018. "Çoklu Mikrokanallarda Ferroakışkanların Isı Transferi ve Basınç Düşümü Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi ", *Journal of the Institute of Science and Technology*.

Maxwell, B., 1973. "The application of melt elasticity to polymer processing", *Polymer Engineering and Science*, 13 (3), 227-230.

Manoram, R.B., Moorthy, R.S. & Ragunathan, R. Investigation on influence of dimpled surfaces on heat transfer enhancement and friction factor in solar water heater. *J Therm Anal Calorim*

Mei, S., Qi, C., Liu, M., Fan, F., Liang, L..2019."Effects of paralleled magnetic field on thermo-hydraulic performances of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-water nanofluids in a circular tube", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 134, 707–721.

Mehrali, M., Sadeghinezhad, E., Akhiani, A.R., Latibari, S.T., Metselaar, H.S.C., Kherbeet, S. A., Mehrali, M. 2017. "Heat transfer and entropy generation analysis of hybrid graphene/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ferro-nanofluid flow under the influence of a magnetic field", *Powder Technology*, 308 149–157.

Mei, S., Qi, C., Liu, M., Fan, F., Liang, L..2019."Effects of paralleled magnetic field on thermo-hydraulic performances of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-water nanofluids in a circular tube", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 134, 707–721.

Mehrez, Z., Cafsi, A.E., 2019. "Forced Convection magnetohydrodynamic Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu/water hybrid nanofluid flow over a backward-facing step", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135, 1417-1427.

Munksgaard Manica, R., De Bortoli, A.L. 2004. "Simulation of sudden expansion flows for power-law fluids", *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* 121: 35-40.

Nagaraju, G., Garvandha, M. 2019. "Magnetohydrodynamic viscous fluid flow and heat transfer in a circular pipe under an externally applied constant suction". *Heliyon*, 5(2).

Paul, T.C., Mahamud, R., A.Khan, J. 2019. "Multiphase modeling approach for ionic liquids (ILs) based nanofluids: Improving the performance of heat transfer fluids (HTFs)", *Applied Thermal Engineering*, Volume 149, Pages 165-172.

Pak, B. C. ve Cho, Y. I, "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide", c. 6152, 2007.

Pulat, E., Diner, M., 2001. "Geri basamak akışının nümerik analizi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri dergisi*, 7(1), 29-34.

Ravi Kumar, N. T, Bhramara, P, Sundar, L. S., Singh, M. K. ve Sousa, A. C. M. "Heat transfer, friction factor and effectiveness of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanofluid flow in an inner tube of double pipe U-bend heat exchanger with and without longitudinal strip inserts", *Exp. Therm. Fluid Sci.*, c. 85, ss. 331–343, 2017.

Roszko, A., Fomalik-Wajs, E. 2016. "Magnetic nanofluid properties as the heat transfer enhancement agent", *International Conference on the Sustainable Energy and Environment Development, SEED*.

Sabir, R., Khan, M.M., Sheikh, N.A., Uhad, I.U., Brabazon, D., 2020. "Assessment of thermo-hydraulic performance of inward dimpled tubes with variation in angular orientations". *Applied Thermal Engineering*, 170.

Selimefendigil, F., Öztop, H.F., 2015. "Influence of inclination angle of magnetic field on mixed convection of nanofluid flow over a backward facing step and entropy generation", *Advanced Powder Technology*, 26, 1663-1675.

Selimefendigil, F., Öztop, H.F., Chamkha, A.J. 2019. "Role of magnetic field on forced convection of nanofluid in a branching channel", *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 30 4 1755-1772.

Sha, L., Ju, Y., Zhang, H., Wang, J. 2017."Experimental investigation on the convective heat transfer of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water nanofluids under constant magnetic field", *Applied Thermal Engineering* 113, 566–574.

Shi, L., Hu, Y., & He, Y. 2019. "Magnetocontrollable convective heat transfer of nanofluid through a straight tube", *Applied Thermal Engineering*, 162, 114220.

Shyam, S., Mehta, B., Mondal, P.K., Wongwises, S. 2019. "Investigation into the thermo- hydrodynamics of ferrofluid flow under the influence of constant and alternating magnetic field by InfraRed Thermography", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 135 1233–1247

Şahin, B., Bayramian, H., Mandev, E., Manay, E. 2019. "Dairesel bir Mikrokanalda SiO<sub>2</sub> Nanoakışkanların Isı Transferi ve Basınç

Düşümü Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1): 446-457.

Tihon, J., Péncavová, V., Havlica, J., Šimčík, M., 2012. “The transitional backward-facing step flow in a water channel with variable expansion geometry”, Experimental Thermal and Fluid Science, 40, 112-125.

Xuan, Y. ve Roetzel, W, “Conceptions for heat transfer correlation of nano fluids”, c. 43, ss. 3701–3707, 2000.

Wang, J., Li, G., Zhu, H., Luo, J., Sunden, B. 2019. “Experimental investigation on convective heat transfer of ferrofluids inside a pipe under various magnet orientations” International Journal of Heat and Mass Transfer 132 407-419.

Wang, X. ve Xu, X, “Thermal Conductivity of Nanoparticle – Fluid Mixture”, c. 13, sayı 4, 1999.

Zonouzi, S. A., Khodabandeh, R., Safarzadeh, H., Aminfar, H., Trushkina, Y., Mohammadpourfard, M., Ghanbarpour, M. Alvarez, G.S. 2018. “Experimental investigation of the flow and heat transfer of magnetic nanofluid in a vertical tube in the presence of magnetic quadrupole field”, Experimental Thermal and Fluid Science 91, 155–165.

## 9. BÜTÇE ve GEREKÇESİ

Talep edilen desteğin her bir kalemi için ayrıntılı gerekçe verilmelidir. Ayrıca, alınması önerilen mal ve malzemeler için teknik şartname ve proforma faturanın proje önerisine eklenmesi gerekmektedir.

### TALEP EDİLEN BÜTÇE TABLOSU

(Talep edilen parasal desteğin her bir kalemi için ayrıntılı gerekçe verilmelidir. Tablodaki satırlar ihtiyaç duyuldukça çoğaltılabilir ve yazım alanları genişletilebilir.)

Alınması Önerilen Makine – Teçhizat (03.7)	
Adı / Modeli	Kullanım Gerekçesi
Digital Rotary Viscometer, MRC VIS-5	Deneysel sistemde çalışma akışkanı olarak kullanılacak olan Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /su nanoakışkanının viskozitesini ölçmek amacıyla talep edilmektedir.
Sirkülasyon Pompası, Taifu/GRS25/8 (25-8-180)	Deney sisteminde zorlanmış taşınım için gerekli olan akışı sağlamak amacıyla talep edilmektedir. Mevcut durumdaki pompa impeller kanatlarının daha önceki çalışmalardan dolayı kirlenmiş olup, istenilen akış koşulunu sağlayamamaktadır.
Fark Basınç Transmitteri, 600mBar 4.20mA G1/4	Test tüpü giriş ve çıkış arasındaki basınç farkını tespit ederek ani genişleme ve çukur kanat yapısının ısı transferine etkisi incelenecektir.
Dijital Kontrol Göstergesi, Çift Giriş, Rs485/4-20mA-220Vac	Fark basınç transmitterinden aldığı 4-20 mA verisini fark basınç değerine çevirmek amacıyla talep edilmektedir.
Plastik Türbin Debimetre, 1" Sıvı	Sistemden geçen akışkan debisini göstererek çalışmanın temeli açısından kritik önem taşıyan akış rejiminin belirlenmesi amacıyla kullanılacaktır.
Kablo tipi ısıtıcı, 20 m	Deney sisteminde dairesel kesitli kanal yüzeyine ısı akısı uygulamak amacıyla talep edilmektedir.
Muhtelif laboratuvar malzemeleri	Nanoakışkanın belirlenen konsantrasyonda hazırlanabilmesi için talep edilmektedir.

Alınması Önerilen Sarf Malzemesi (03.2)	
Adı	Kullanım Gerekçesi
Alüminyum boru (L=6000 mm)	Sayısal analizlerde en yüksek PDK sayısının elde edildiği geometriye bağlı olarak alüminyum borulara ihtiyaç vardır. Bu borular ile ani genişleme yapısı oluşturulacaktır.
Nanopartikül (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , 20 nm, %99,9 saflık, 50 gr.)	Saf su ile sayısal analiz sonuçlarına göre belirlenecek oranında karıştırılarak çalışma akışkanı olarak kullanılacaktır. Böylece çalışma kapsamında yer alan saf suya göre ısı transfer iyileşmesi gözlemlenecektir.

Hizmet Alımı (03.5)		
Mahiyeti	Nereden/Kimden Alınacağı	Gerekçesi

