



Application of TRIZ algorithm and Taguchi analysis for optimum heat sink design in electric vehicles

Burak Türkan*

Department of Mechanics, Bursa Uludağ University, Vocational School of Gemlik, 16600, Gemlik, Bursa, Türkiye

Highlights:

- Use of TRIZ innovation method
- Parameter effect by optimization
- Optimal heat sink design

Keywords:

- Electric vehicles
- Liquid cooling
- TRIZ
- Innovation
- Taguchi

Article Info:

Research Article
Received: 12.02.2022
Accepted: 19.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1072512

Correspondence:

Author: Burak Türkan
e-mail:
burakt@uludag.edu.tr
phone:+90 224 294 2677

Graphical/Tabular Abstract

In this study, it is explained how to use the TRIZ method for a new design. The innovative design process flowchart is given in Table A. The innovative design process should be followed step by step as follows; The product to be improved or redesigned is analyzed. First of all, the problem is presented clearly and simply. Then the improving and worsening features are expressed. After two of the 39 contradiction statements are identified, the contradiction matrix is used. In the cell where the parameters intersect, the proposed innovative solution principles are determined. These suggested principles are applied sequentially to the problem. If there is no contradiction, the most appropriate solution methods from 40 principles are searched. In the next step, the solutions obtained are evaluated. If originality and innovation are desired, a patent search is made for the current situation. If a similar product or patent is found, it is returned to the stage where the contradictions are detected and the contradictions are expressed again. At the last stage, if the product is determined to be the original and most suitable solution, product analysis can be started.

Table A. Innovative design process flowchart

Problem description of the product to be improved
The feature to be improved and the feature to be worsened are detected (Contradictions detection)
Application of 39*39 contradiction matrix
If there is a contradiction, the contradiction matrix is used, where the suggestions from 40 innovative principles are applied.
If there is no contradiction, one parameter is selected from among 40 innovative principles and continues
The suitability of the solution is examined and if the solution is not, the contradictions are reviewed again.
If the solution is found to be suitable product design can be started.

Purpose:

Optimum design of the electronic system cooler used in electric vehicles using innovative methods.

Theory and Methods:

In order to increase the amount of heat transfer emitted by the liquid-cooled heat sink and reduce the pressure loss, it was designed in both innovative and optimum operating conditions by using the TRIZ and Taguchi method. For this, design ideas were searched using the TRIZ innovative method. Then, based on these ideas, parameter determination was made. Taguchi analysis was performed in order to obtain the optimum operating conditions among the parameters and to determine the most effective parameter.

Results:

The Taguchi analysis results for the cooler redesigned with TRIZ method showed us that the most effective parameter in terms of maximum radiated heat amount and minimum pressure loss is the number of fins (83.11%-87.27%).

Conclusion:

According to the results of two separate outputs (heat dissipated and pressure loss), an improvement of 6.6% in the amount of heat dissipated and 14.14% in the pressure loss, compared to the current situation, was achieved under optimum operating conditions.



Elektrikli araçlarda optimum soğutucu tasarımı için TRIZ algoritmasının uygulanması ve Taguchi analizi

Burak Türkan*

Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabyık MYO, Makine Bölümü, 16600, Gemlik, Bursa, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- TRIZ inovasyon yönteminin kullanımı
- Optimizasyon ile parametre etkisi
- Optimum soğutucu tasarımı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 12.02.2022

Kabul: 19.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1072512

Anahtar Kelimeler:

elektrikli araçlar,
sıvı soğutma,
TRIZ,
Taguchi,
inovasyon

ÖZ

Gelişen teknoloji ile birlikte elektronik cihazların da güç yoğunluğu doğru orantılı olarak artmaktadır. Dolayısı ile bu durum soğutma teknolojisinin de gelişmesine neden olmaktadır. Bu çalışma, elektrikli araçların elektronik sistemlerinin soğutulmasında kullanılan soğutucu tasarımında, TRIZ (İnovatif problem çözme teorisi) yönteminin sonuçları ne kadar artırdığının nicel bir değerlendirmesini sunmaktadır. Problem tanımlandıktan sonra TRIZ çelişkiler matrisi ile inovatif prensipler uygulanmıştır. Özellikle maliyetli çözüm olmaması için geometrik parametreler esas alınmıştır. Yenilikçi çözüm için kanal giriş uzunluğu, kanat sayısı ve kanat türü parametrelerinin soğutma ve basınç kaybı üzerindeki etkisi Taguchi analizinde incelenmiştir. Kanal içi akış problemi sonuçları Comsol programında nümerik olarak gerçekleştirilmiştir. Soğutma işlemi için yayılan ısı ve basınç kaybı değerleri üzerine etki eden parametrelerin önem sırası kanat sayısı > soğutucu tipinin etkisi > giriş mesafesi uzaklığı olarak elde edilmiştir. Kanat sayısının maksimum ısı yayılımı ve basınç kaybı üzerindeki etki oranının ise diğer iki parametreye göre oldukça yüksek değerlerde (%83,11-%87,27) olduğu görülmüştür. Isı yayılımı açısından TRIZ analizi ile sonuç tasarımında, mevcut durumuna göre %6,6, basınç kaybı açısından %14,14 iyileşme gerçekleşmiştir. Çalışmada kullanılan nümerik yöntemin doğruluğunu test etmek için literatürde yapılmış bir çalışma ele alınmıştır. Sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Application of TRIZ algorithm and Taguchi analysis for optimum heat sink design in electric vehicles

HIGHLIGHTS

- Use of TRIZ innovation method
- Parameter effect by optimization
- Optimal heat sink design

Article Info

Research Article

Received: 12.02.2022

Accepted: 19.03.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1072512

Keywords:

Electric vehicles,
liquid cooling,
TRIZ,
Taguchi,
innovation

ABSTRACT

With the developing technology, the power density of electronic devices is increasing in direct proportion. Therefore, this situation causes the development of cooling technology. This study presents a quantitative evaluation of how TRIZ (Innovative problem solving theory) method improves results in cooler design used in cooling the electronic systems of electric vehicles. After the problem was defined, innovative principles were applied with the TRIZ contradiction matrix. Geometric parameters are taken as a basis, especially in order not to be a costly solution. For an innovative solution, the effects of duct inlet length, number of fins and fin type parameters on cooling and pressure loss were investigated in Taguchi analysis. The results of the in-channel flow problem were carried out numerically in the Comsol program. The order of importance of the parameters affecting the radiated heat and pressure loss values for the cooling process was obtained as the number of fins > the effect of the cooler type > the inlet distance distance. It has been observed that the effect rate of the number of fins on the maximum heat dissipation and pressure loss is quite high (83.11%-87.27%) compared to the other two parameters. In terms of heat dissipation, with TRIZ analysis, an improvement of 6.6% was achieved in the final design compared to the current situation, and an improvement of 14.14% in terms of pressure loss. In order to validation the numerical method used in the study, a study in the literature was discussed. The results were found to be compatible with each other.

1. Giriş (Introduction)

Enerji krizi ve çevre kirliliğinin etkisi altında, elektrikli araçlar gelecekte küresel rekabet ve gelişimin odak noktası haline gelecektir [1]. Bununla birlikte, elektrikli araçlar için zorluklar, sınırlı sürüş menzili ve uzun şarj süresidir [2]. Güç elektroniği sistemlerinin daha yüksek güç yoğunluğu ve verimliliği, araçların sürüş menzili artırabilir. Bu nedenle, güç aktarma organlarındaki her bir bileşenin güç yoğunluğunu ve verimliliğini mümkün olduğunca iyileştirmek önemlidir [3]. Bununla birlikte, daha yüksek güç yoğunluğu, büyük miktarda ısı yoğunluğu üretilmesine neden olmaktadır, bu da cihazların performansını bozabilir. Bu nedenle, izin verilen maksimum sıcaklığın altında çalışmasını sağlamak için soğutma işlemi çok önemlidir [4]. Elektronik sistemlerde geleneksel hava soğutma yöntemi, yüksek güç yoğunluklu ısı dağılımı gereksinimlerini karşılayamaz [5]. Sıvı soğutma, yüksek soğutma kapasitesi nedeniyle güç elektroniği bileşenlerinin soğutulması için çekici bir çözüm haline gelmiştir. Geçtiğimiz yıllarda, sıvı soğutmalı plakalı kanatçık sistemi, kolay imalat ve düşük maliyet gibi avantajları nedeniyle etkili bir soğutma aracı olarak kabul edildi. Liang vd. bir motor invertörü için yüksek verimli sıvı soğutmalı bir kanatçık tasarladı. Analizlerinde farklı kanal aralığı ve akış hızının soğutma performansı üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurmışlardır. Akış hızı sabitlendiğinde, çoklu küçük kanal konfigürasyonunun sıcaklık artışının tek kanal konfigürasyonundan 14°C daha düşük olduğunu bildirmişlerdir [6]. Sakanova vd. güç elektroniği dönüştürücüsü için sıvı soğutma sistemini araştırmıştır. İnceledikleri iki soğuk levha sırasıyla U şeklinde bir bakır boru ve bir serpantin bakır borudan oluşmuştur. Sonuçlar, serpantin bakır borulu soğuk plakanın, U şekilli bakır borulu soğuk plakadan daha iyi soğutma performansı sağlayabileceğini göstermiştir [7]. Micheli vd. farklı geometrilere sahip silikon mikro kanatçıklar kullanarak kanat geometrileri ile ısı transfer katsayıları arasındaki benzerlikleri ve yönelimin etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır [8]. Güç cihazı düzeni bilindiğinde, sıvı soğutmalı soğuk plakalı kanatçık, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonları ile tasarlanabilir ve optimize edilebilir [9]. Han vd. 30 kW'lık bir motor invertörü için sıvı soğutmalı soğutucu tasarımı yapmışlardır. Optimum bir soğutucu için, üç farklı soğutucu konfigürasyonunun soğutma performansını araştırmışlardır. Sıcaklık ve akışkan hızı alanının dağılım özelliklerini karşılaştırıp analiz etmişlerdir. Ayrıca, geometrik parametrelerin (kanat kalınlığı) ve akış parametrelerinin (akış hızı) soğutma performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [10]. Bu çalışmalar esas olarak, kanatlı şekilli ısı yayıcının soğutma performansı, soğutucu giriş sıcaklığı, akış hızı, soğutucu tipi ve geometrik parametrelerinin etkisine dayanmaktadır. Kanat türü, kanat sayısı ve giriş mesafesi uzaklığının soğutma performansı üzerindeki etkisinin kapsamlı analizine daha az dikkat edilmiştir. Bu nedenle, özellikle soğutucunun geometrik parametrelerinin soğutma performansı üzerindeki etkisinin daha fazla incelenmesi gerekmektedir.

Teknolojinin hızla gelişmesi ile günümüzde inovasyonun önemi daha da artmıştır. Ayrıca küreselleşmeden dolayı şirketler arası rekabet giderek artmaktadır. Artık yeni teknolojilerin ortaya çıkması ile birlikte yeni endüstri alanlarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısı ile iş yerlerinde artık bilginin yanında inovatif düşünen çalışanlara öncülük verilmektedir [11]. İnovatif problem çözmek için pratik çözüm metodları kullanılmalıdır. Geleneksel çözüm metodları problemin tespitinin zorluğu, eksik veya yetersiz amaç tanımı ve çelişkisel ifadelerden uzaklaşma nedeni ile sınırlı çözümler verebilir [12]. Asıl önemli olan çözüm fikrinin özgün ve inovatif olmasıdır. Bu yüzden inovatif çözüm metodu olan TRIZ, kaliteli fonksiyon yayılımı (QFD), Altı sigma, deneysel tasarım ve Taguchi yöntemi gibi problem çözmeye yardımcı yöntemler kullanılmalıdır [13]. TRIZ konusunda

yapılan bazı çalışmalar şu şekildedir; Canbulut vd. çalışmalarında verimliliği yüksek matkap tezgahı geliştirmişlerdir. Bunun için beyin fırtınası ve TRIZ yöntemlerini kullanmışlardır. Yeni modellenen inovatif tezgahın üretim hızının %71,88 arttığını tespit etmişlerdir [14]. Yang vd. yeni bir rüzgar enerjisi sisteminin tasarımında TRIZ ve QFD yöntemini etkili bir şekilde kullanmışlardır [15]. Yin vd. yaptıkları çalışmada üç kritik faktör tanımlamışlardır: yenilik, ürün çeşitliliği ve şirket rekabet gücünü artırmak. Değişen müşteri gereksinimlerini karşılamak için yüksek katma değerli yeni ürünlere olanak tanıyan çeşitliliği sağlamak için TRIZ metodunu kullanmışlardır. Rekabet gücündeki bu artış ve değişen müşteri gereksinimlerini karşılama yeteneğine dönük çözümler bularak şirketlerin ayakta kalması için önerilerde bulunmuşlardır [16]. Supraefico ve Russo 200 den fazla TRIZ uygulamasını incelemişlerdir. TRIZ'in birçok farklı uygulama için kullanılan evrensel bir yöntem olmaya devam ettiğini belirtmişlerdir. Yalnızca erken tasarım aşamalarında değil, aynı zamanda düzenleme aşamalarında da nihai çözümlerin somutlaştırılması (örneğin bir ürünü piyasaya sürmek) için sıklıkla kullanıldığını yaptıkları literatür araştırması sonuçlarına göre ifade etmişlerdir [17].

Bu makalenin yeniliği, sıvı soğutmalı soğutucunun tasarımının yapılması için literatürde karşılaşılmayan inovasyon için TRIZ yöntemi ve optimizasyon için Taguchi analizinin birlikte kullanılmasıdır. Soğutucunun tasarım amacı, maksimum ısı yayılımı ve minimum basınç kaybı değerinin sağlanmasıdır. Optimum bir soğutucu tasarımı elde etmek için, üç farklı parametre (kanal giriş uzunluğu, kanat türü ve kanat sayısı) konfigürasyonunun soğutma performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı parametrelere ait optimum tasarımların ısı yayılımı ve basınç kaybı değerleri analiz edilmiştir. Son olarak simülasyon sonuçlarını doğrulamak için Taguchi analizinden elde edilen optimum sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. TRIZ Tanımı Hakkında Kısa Bilgi (Information About the TRIZ Definition)

TRIZ, inovatif problem çözme teorisinin Rusça kısaltılmasıdır. Üreticilerin yeni ürünler ortaya çıkarırken karşılaştıkları sorunları çözme yöntemidir. TRIZ'in yenilikçi tasarım yöntemi, eski Sovyetler Birliği'nde 39 mühendislik parametresi (Tablo 1) oluşturmak için 40000'den fazla patenti analiz eden Altshuller tarafından geliştirilmiştir, 40 inovatif ilke (Tablo 2) ve çelişki matrisi vardır [18-20]. TRIZ yöntemini kullanarak tasarımcıların sistem çelişkilerini çözmelerine ve ürün tasarımını geliştirmelerine yardımcı olmak amaçlanmaktadır.

Problem çözmeye ilk adım, ürün sistemindeki çelişkili özellikleri bulmaktır. 39 mühendislik parametresinden iki uygun çelişki bulunur. Ardından, tasarımcılar TRIZ yöntemini kullanarak çelişki matrisinde (Tablo 3) bu iki parametreyi eşleştirdiklerinde, matrisin satır ve sütununun kesiştiği hücrede çözüm için 40 inovatif prensip içinden üç veya dört tanesi önerilmektedir [21-23]. Daha sonra bu seçilen prensipler problemimize uygulanarak inovatif çözümler araştırılır.

2.2. Tasarım Süreci ve Akış Şeması (Design Process and Flow Chart)

Bu çalışmada TRIZ metodunun yeni bir tasarım için nasıl kullanılacağı anlatılmıştır. Şekil 1'de yenilikçi tasarım süreci akış şeması verilmiştir. Yenilikçi tasarım işlemi adım adım şu şekilde takip edilmelidir; iyileştirilecek veya yeniden tasarlanacak ürün analiz edilir. Öncelikle problem açık ve sade bir şekilde ortaya koyulur. Daha sonra iyileşen ve kötüleşen özellikler ifade edilir. 39 çelişki ifadelerinden ikisi tespit edildikten sonra çelişki matrisine [22] gidilir.

Tablo 1. 39 Mühendislik parametresi (39 Engineering parameters)

1	Hareketli nesnenin ağırlığı	14	Mukavemet	27	Güvenilirlik
2	Sabit nesnenin ağırlığı	15	Hareketli nesnenin dayanımı	28	Ölçüm doğruluğu
3	Hareketli nesnenin uzunluğu	16	Sabit nesnenin dayanımı	29	Üretim doğruluğu
4	Sabit nesnenin uzunluğu	17	Sıcaklık	30	Nesneye etki eden zararlı faktörler
5	Hareketli nesnenin alanı	18	Parlaklık	31	Zararlı yan etkiler
6	Sabit nesnenin alanı	19	Hareketli nesnenin harcadığı enerji	32	Üretilebilirlik
7	Hareketli nesnenin hacmi	20	Sabit nesnenin harcadığı enerji	33	Kullanım kolaylığı
8	Sabit nesnenin hacmi	21	Güç	34	Tamir edilebilirlik
9	Hız	22	Enerji kaybı	35	Adapte edilebilirlik
10	Kuvvet	23	Madde kaybı	36	Alet karmaşıklığı
11	Gerilim/basınç	24	Bilgi kaybı	37	Kontrol karmaşıklığı
12	Şekil	25	Zaman kaybı	38	Otomasyon seviyesi
13	Nesnenin yapısal kararlılığı	26	Madde miktarı	39	Verimlilik

Tablo 2. 40 İnovatif ilke (40 Innovative principles)

1	Bölme, dilimleme	15	Dinamiklik	29	Pnömatik ve hidrolik kullanımı
2	Çıkarma, ayırma	16	Kısmi fazlalık	30	Esnek kabuklar ve ince filmler
3	Lokal kalite	17	Diğer boyut	31	Gözenekli malzeme kullanımı
4	Asimetri	18	Mekanik titreşim	32	Renk değiştirme
5	Birleştirme	19	Periyodik hareket	33	Homojenlik
6	Evrensellik	20	Faydalı çalışmanın sürekliliği	34	Atılan ve değiştirilen parçalar
7	İç içe yerleştirme	21	Acele etme	35	Parametre değişikliği
8	Ağırlık azaltma	22	Zararı yarara çevirme	36	Hal geçişleri
9	Başlangıçta eylemsizlik	23	Geri besleme	37	Isıl genleşme
10	Başlangıçta hareket	24	Ara bulucu	38	Kuvvetli oksitlendiriciler
11	Önceden güvenlik sağlama	25	Self-servis	39	Eylemsiz atmosfer
12	Eşit potansiyel	26	Kopyalama	40	Kompozit malzemeler
13	Ters eylem	27	Ucuz, kısa ömürlü nesnelere		
14	Yuvarlama, küresellik	28	Mekanik yer değiştirme		

Tablo 3. Çelişki matrisinin bir kısmı (Part of the contradiction matrix)

	Kötüleşen parametre						
İyileşen parametre	1	2	3	..	24	..	39
1	-	-	8,15,24,34	...	10,24,35	...	3,24,35,37
2	-	-	-	...	10,15,35	...	1,15,28,35
:
21	8,31,36,38	17,19,26,27	1,10,35,37	...	10,19	...	28,34,35
:
39	24,26,36,37	3,15,27,28	3,15,27,28	...	13,15,23	...	-

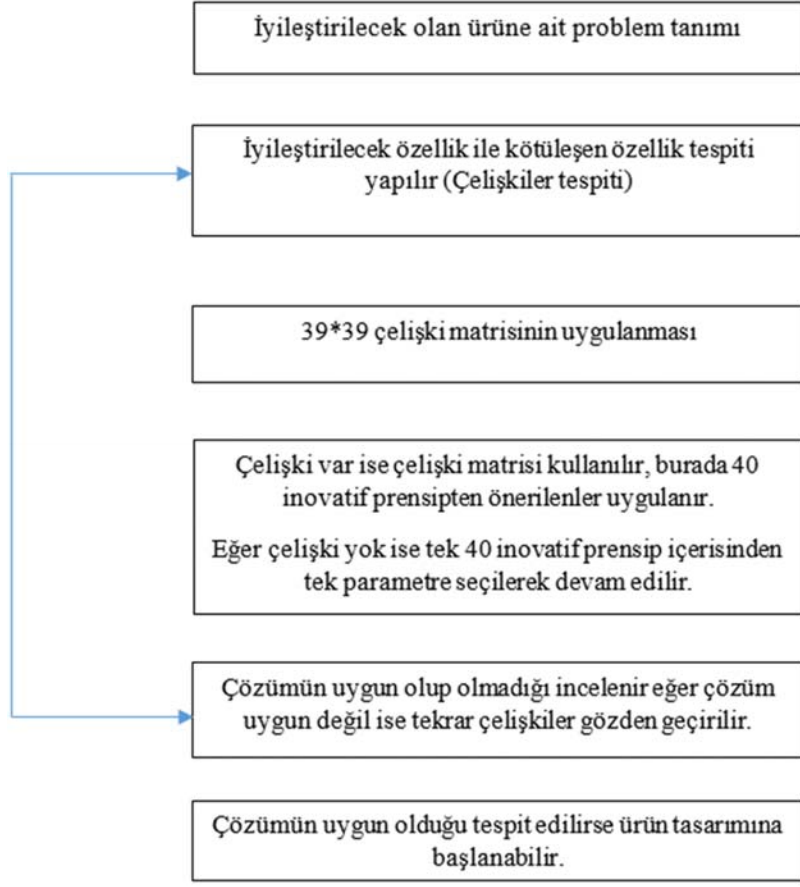
Parametrelerin kesiştiği hücrede bize önerilen inovatif çözüm prensipleri belirlenir. Bu önerilen prensipler sırası ile probleme uygulanır. Eğer çelişki yok ise 40 prensipten en uygun çözüm yöntemleri araştırılır. Bir sonraki adımda elde edilen çözümler değerlendirilir. Eğer özgünlük ve yenilik isteniyorsa bulunan mevcut durum için patent araştırması yapılır. Benzer ürün veya patent bulunursa tekrar çelişkilerin tespit edildiği aşamaya geri dönülür ve yeniden çelişkiler ifade edilir. Son aşamada ürünün özgün ve en uygun çözüm olduğu tespit edilirse ürün analizine başlanabilir. Ürün

analizi ile tasarım sonuçları doğrulandıktan sonra patent alınması için başvuru yapılabilir.

2.3. TRIZ Uygulaması (TRIZ Application)

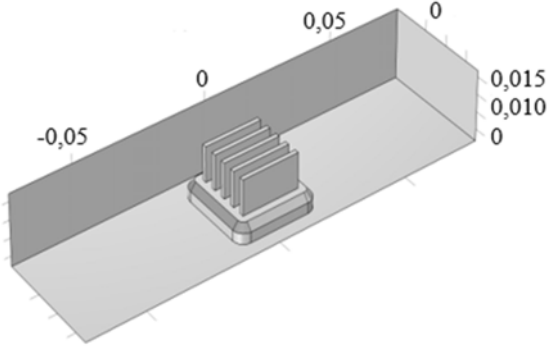
2.3.1. Problemin tanımı (Description of the problem)

Mevcut sistemde kanatçıyı soğutmak için sıvı akışı kullanılır (Şekil 2). Akışkan belirli hız ve sıcaklıkta kanala gönderilmektedir. Burada öncelikle sistemin iyileştirilmesinin yapılması istenmektedir. Bunun



Şekil 1. Yenilikçi tasarım süreci akış şeması (Innovative design process flowchart)

için öncelikle TRIZ metodunu uygulamamız gerekmektedir. Isı transferinin artırılması ve basınç kaybının azaltılması problemimizin amacı olarak seçilmiştir. Burada TRIZ algoritmasının uygulanmasında öncelikle kanatçık ve kanal içi akış olmak üzere iki ayrı sistemi ele almamız gerekmektedir.



Şekil 2. Mevcut kanal ve soğutucunun geometrisi (Geometry of existing duct and heat sink)

Mevcut durum özellikleri şu şekildedir; kanal uzunluğu 17 cm, derinliği 4 cm, yüksekliği 2 cm, kanatçık tabanı derinliği 3 cm, uzunluğu 3 cm, kalınlığı 5 mm, köşe yarıçapı 2 mm, pah uzunluğu (45°), 2 mm, kanat uzunluğu 1 cm, kalınlığı 2 mm ve kanat sayısı 5'dir. Burada kurulacak yeni sistem için ekstra maliyet yerine sadece geometrik boyutlar üzerinde değişiklik önerilmiştir. Dolayısı ile

problem çözümünde kısıt verisi olarak geometrik değişiklikleri alınmıştır. Öncelikle kanatçığı ayrı olarak ele alabiliriz. Isı transferini artırmak için alanın artması gerekmektedir. Bu durum kanatçık üzerinde şekil değişikliği ile gerçekleşebilir. Ancak bu durumda imalat kolaylığı da şekil değişikliğinden dolayı zorlaşacaktır. 39 çelişki parametresinden iyileşen özellik "şekil" ve kötüleşen özellik "üretim kolaylığı" olarak seçilmiştir. Çelişki matrisinden [22] bu iki özellik eşleştirilerek elde edilen çözüm önerileri, numaraları ile şu şekildedir;

1. Bölme, 32. Renk değiştirme, 17. Diğer boyut, 28. Mekanik yer değiştirme

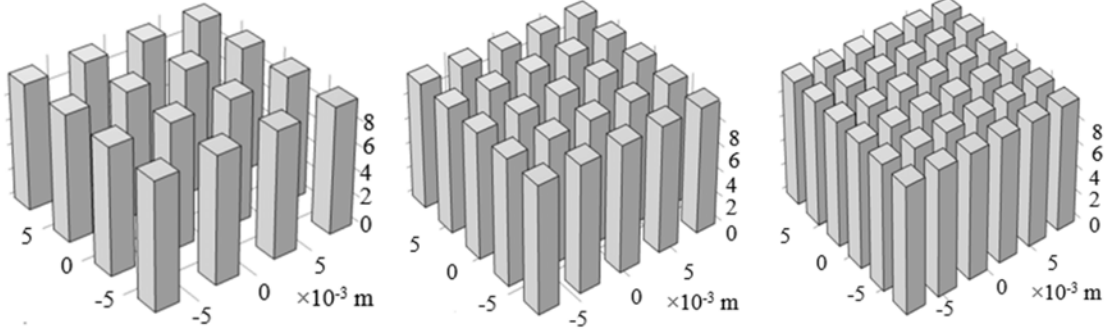
Sistemde kısıt fonksiyonumuz olarak mekanik ve sistemsel değişiklik olmayacağı daha önce ifade edilmişti. Buna göre önerilen prensiplerden en uygun bölme seçeneği seçilmiştir. Buna göre mevcut kanat yapısı bölünerek farklı sayılarda kanata sahip ısı yayıcıları kanala uygulanabilir (Şekil 3). Diğer çelişki durumu için kanal içi akışının tamamını ele alabiliriz. Burada asıl amaç ısı transferini artırarak sistemi iyileştirmek. 39 çelişki parametresinden iyileşen özellik "verimlilik" ve kötüleşen özellik "üretim kolaylığı" olarak seçilmiştir. İki ifade çelişkiler matrisinden [22] seçilerek önerilen 4 inovatif prensip numaraları ile şu şekildedir;

35. Parametre değişikliği, 28. Mekanik yer değiştirme, 2. Çıkarma, 24. Ara bulucu

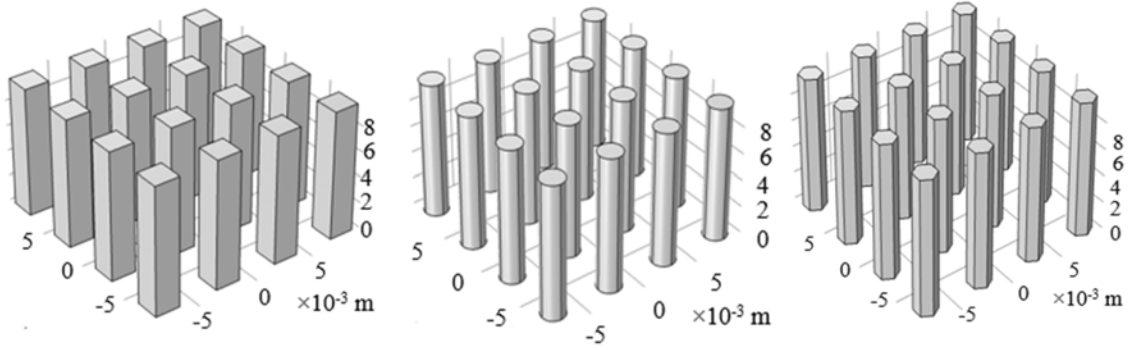
Bu ifadelerden problemimizin çözümüne en uygun olan çıkarma ve parametre değişikliğini ele alabiliriz. Parametre olarak kanatçık yapısı, şekli buna ek olarak kanal giriş uzunluğu değiştirilebilir. İlk

olarak incelediğimiz TRIZ çözümünde önerilen bölme işlemi ile bu çözümde önerilen parametre değişikliği ifadeleri birleştirildiğinde farklı kanat yapıları (kare, daire, altıgen), farklı kanat sayıları (16, 25,

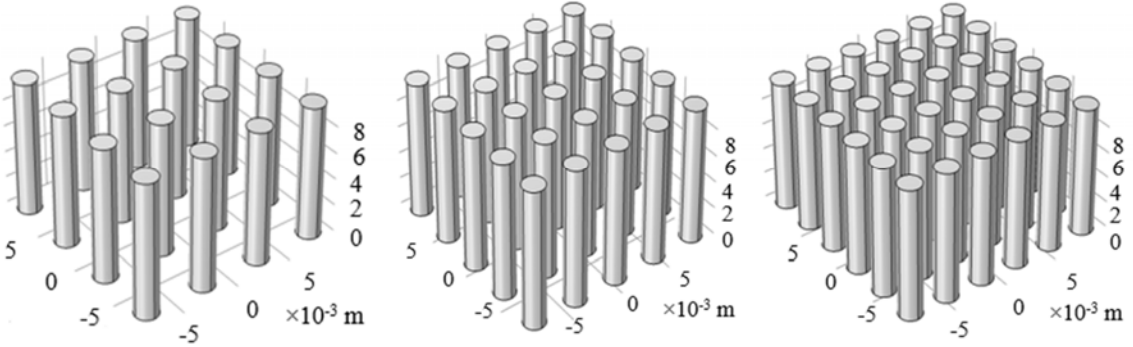
36) ve farklı kanal giriş uzunluklarına (2cm, 4cm, 6cm) ait olası çözüm önerileri elde edilebilir. Elde edilen tasarım sonuçları Şekil 4-7 de verilmiştir. Şekil 7'de sadece kanal giriş uzunluğunun değişimini



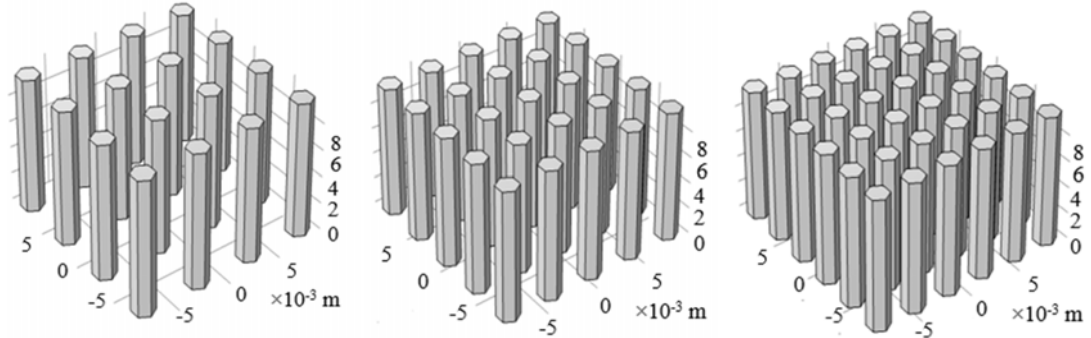
Şekil 3. Farklı kanat sayılarına ait soğutucular (Heat sink of different fin numbers)



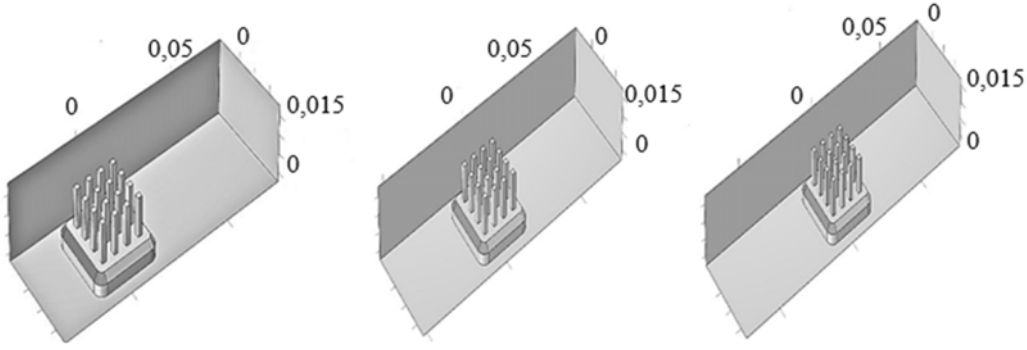
Şekil 4. Farklı kanat tipleri için tasarımlar (Designs for different fin types)



Şekil 5. Dairesel tip için farklı kanat sayılarına ait tasarımlar (Designs of different fin numbers for circular type)



Şekil 6. Altıgen tip için farklı kanat sayılarına ait tasarımlar (Designs of different fin numbers for hexagonal type)



Şekil 7. Farklı kanal giriş uzunlukları için 16 kanat sayılı, kare tip kanat (Square type with 16 fin for different channel inlet lengths)

göstermek için kare kesitli 16 kanatlı model gösterilmiştir. Elde edilen inovatif tasarım sonuçlarına göre 3 parametrelili, her bir parametrede de 3 farklı değer olan olası çözüm senaryoları elde edilmiştir.

2.4. Matematik Model (Mathematical Model)

3 boyutlu, sürekli rejimde, sıkıştırılmaz türbülanslı akış için korunum (süreklilik, momentum ve enerji) denklemleri Eş. 1-Eş. 5 olarak ifade edilebilir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \quad (1)$$

Momentum denklemleri (x,y ve z yönünde);

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Enerji denklemi;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Burada x,y ve z koordinatlarındaki kanal içi akışa ait süreklilik denklemlerinde; ρ : yoğunluk (kg/m^3), u,v ve w: sırası ile x,y ve z yönündeki hızlar (m/s) p: basınç (Pa), μ : viskozite (Ns/m^2), α : ısı yayılım katsayısı (m^2/s) olarak ifade edilmektedir [10].

Taguchi analiz denklemleri;

Maksimum, minimum ve nominal performans değerleri için Eş. 6-Eş. 9 kullanılmaktadır [24].

$$S/N_{\max} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (6)$$

$$S/N_{\min} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (7)$$

$$S/N_{\text{nom}} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (8)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (9)$$

Burada n bir denemedeki test sayısı, y_i performans karakteristikleri için simülasyondan elde edilen verinin i. değeri, \bar{y} gözlem değerlerinin ortalaması ve s^2 gözlem değerlerinin varyansdır. Simülasyon ile elde

edilen veriler Taguchi yöntemi ile yapılan analiz sonucunda aynı zamanda tahmin edilebilir (Eş. 10).

$$S/N' = S/N_{\text{avg}} + \sum_{i=0}^p (S/N_i - S/N_{\text{avg}}) \quad (10)$$

Burada; S/N' tahmini S/N oranı, S/N_{avg} tüm S/N oranlarının ortalaması, p faktör sayısı, S/N_i her bir faktörün optimum seviyedeki S/N oranıdır.

Hesaplanan tahmini S/N' oranı, Eş. 11 kullanılarak optimum analiz kombinasyonu için tahmini ölçüm sonuç değeri elde edilir. Daha sonra bu değer ile simülasyon sonucu karşılaştırılarak, Taguchi analizi ile simülasyon sonuçlarının uyumlu olup olmadığı araştırılabilir [24].

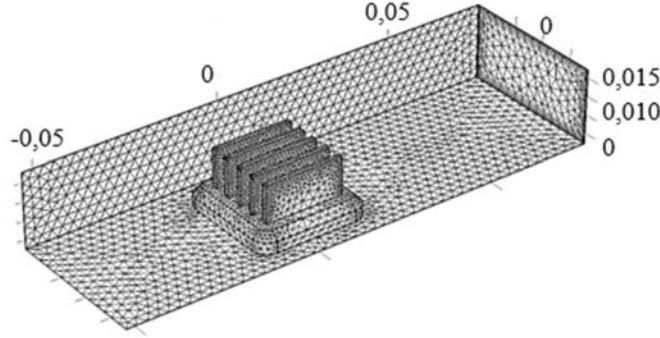
$$\text{Tahmin edilen değer} = 10^{-\frac{S/N'}{z_0}} \quad (11)$$

2.5. Analiz Uygulaması (Analysis Application)

Tüm analizlerde öncelikle ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Sonuç değerlerinin %1 hassasiyeti ile ağ sayısı seçilmiştir. Analizler öncesinde hem mevcut durum hem de farklı kanatçık yapıları için yapılan ağdan bağımsızlık sonuçları Tablo 4'de görülmektedir. Mevcut durumdaki model için ağ yapısı şekil 8'de verilmiştir. Analizde kullanılan termofiziksel özellikler Tablo 5'de verilmiştir [25]. Analizlerde akışkan giriş hızı 1 m/s, akışkan giriş sıcaklığı 22°C, ısı kaynağı sıcaklığı 100°C olarak kabul edilmiştir. Kanal içi akışta Reynolds sayısı 26494,02 olarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısı 10000 değerinden büyük olduğu için akış türbülanslı kabul edilmiştir [10]. En geniş uygulanabilirlik alanına sahip olduğu için k- ϵ türbülans modeli seçilmiştir. Isı transferi ve çok fazlı akışlarda özellikle tercih edilmektedir [26]. Akış ve ısı transferi için verilen matematik model Intel(R) Core(TM) i7-1065G7 CPU 1.50 GHz işletim sistemine sahip bir bilgisayarda Comsol programı (Comsol Multiphysics 5.3 [27]) CFD modülü kullanılarak çözülmüştür. Bir analiz süresi ortalama iki saat sürmüştür. Denklem sistemlerinin çözümünde GMRES (the generalized minimal residual method) ve PARDISO (parallel direct sparse solver for clusters) iterasyon çözücü seçilerek Lagrange denklem sistemleri kullanılmıştır.

Isı, alüminyum taban plakası ve katı kanatlar içerisinde ısı iletimi yoluyla aktarılır. Daha sonra kanal içindeki akışkana zorlanmış taşınım yoluyla ısı dağıtılır. Analizi basitleştirmek için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır;

- Tek fazlı, sıkıştırılmaz türbülanslı akış.
- Katının ve sıvının termofiziksel özellikleri sıcaklıktan bağımsız sabit olarak kabul edilmiştir.
- Doğal taşınım ve ışınım ısı transferi ihmal edilmiştir.
- Yerçekimi kuvvetinin etkileri ve viskozitenin neden olduğu ısı yayılımı ihmal edilmiştir.



Şekil 8. Mevcut modelin ağ yapısı (Mesh structure of the current model)

Tablo 4. Ağdan bağımsızlık çalışması sonuçları (Mesh independence study results)

Tasarım tipi	Ağ sayısı	Yayılan ısı (W)	Fark (%)
Mevcut durum	307704	20,28	
	555740	20,30	0,098
Kare tip	341194	20,17	
(kanatçık sayısı 16)	651823	20,19	0,099
Kare tip	389406	20,22	
(kanatçık sayısı 25)	758231	20,23	0,049
Kare tip	425196	20,26	
(kanatçık sayısı 36)	831731	20,29	0,147
Daire tip	421001	20,19	
(kanatçık sayısı 16)	827884	20,18	0,049
Daire tip	513920	20,23	
(kanatçık sayısı 25)	1015062	20,24	0,049
Daire tip	582280	20,26	
(kanatçık sayısı 36)	1183901	20,28	0,098
Altıgen tip	372832	20,13	
(kanatçık sayısı 16)	663611	20,15	0,099
Altıgen tip	412144	20,19	
(kanatçık sayısı 25)	788611	20,22	0,148
Altıgen tip	513346	20,24	
(kanatçık sayısı 36)	912637	20,23	0,049

Tablo 5. Akışkan ve kanatçığın termofiziksel özellikleri (Thermophysical properties of fluid and heat sink)

	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı [kJ/(kg°C)]	Isıl iletkenlik [W/(m°C)]
Su (22°C)	998	4,181	0,606
Alüminyum (kanatçık)	2702	903	237

- Katı duvarlar arasında oluşan termal temas direnci ihmal edilmiştir.
- Kanatçık tabanının sıcaklığı sabit alınmıştır.

Mevcut durum için yapılan analiz sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Mevcut durumda yayılan ısı 18,94 W, basınç kaybı ise 574,8 Pa olarak elde edilmiştir.

2.6. Simülasyon Modelinin Doğrulama Çalışması (Validation Study of the Simulation Model)

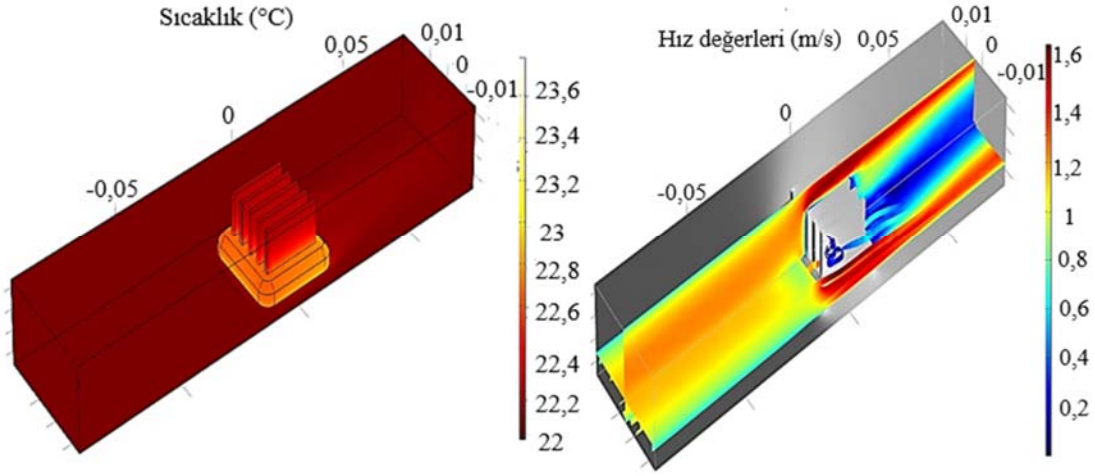
Analizlerde kullanılan nümerik yöntemin doğruluğunu test etmek için literatürde yapılmış olan Hussain vd. [28] ait nümerik çalışmanın sonuçları kullanılmıştır. Çalışmada kanal içerisinde üzerinden yatay akış olan kanatçık modeli kullanılmıştır. Sabit ısı akısı değeri 18750 W/m² ve akışkan debisi 0,00218 kg/s, 0,0033 kg/s ve 0,00433 kg/s alınarak analizler yapılmıştır. İki çalışmaya ait kanatçığın taban sıcaklık sonuç değerleri Şekil 10'da verilmiştir. İki çalışmanın sonuçları arasında % 6,11'lik bir fark ortaya çıkmıştır. Comsol

programı kullanılarak oluşturulan simülasyon modeli ile elde edilen sonuçların, Hussain vd. [28] tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

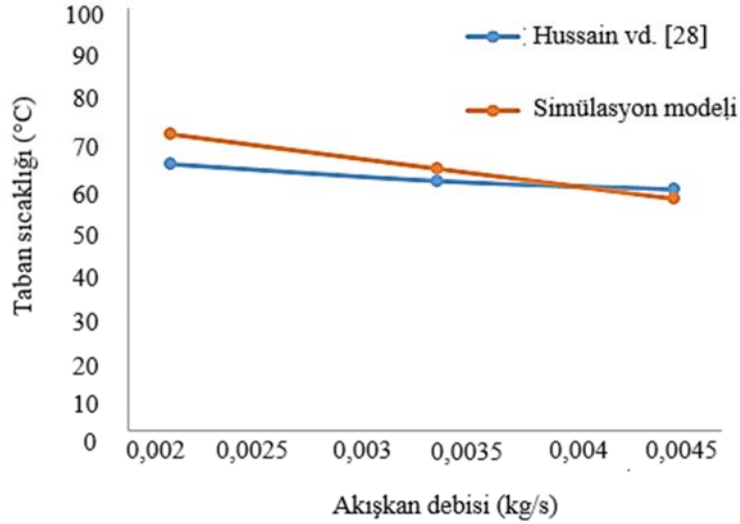
3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

3.1. Taguchi Analiz Sonuçları (Taguchi Analysis Results)

Isı transferini etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça deneysel çalışmaların her bir olası durumunun yapılması maliyetli olmasının yanında, süreci ve uygulamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle çok faktörlü durumlarda optimum durum için uygulanması verimli olan Taguchi yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde öncelikle her bir parametre için serbestlik derecesi değerleri toplanarak elde edilen toplam serbestlik derecesine uygun bir ortogonal dizi seçilmelidir. TRIZ çözümlemesi ile elde edilen kanatçığın soğutma sürecine etki eden parametrelerini (Giriş mesafesi uzaklığı (cm), soğutucu tipi ve kanat sayısı) optimize etmek için Taguchi metodu kullanıldı. Analizlerde giriş mesafesi uzaklığı 2cm, 4cm ve 6cm, soğutucu tipi



Şekil 9. Mevcut model için yapılan analiz sonuçları (Analysis results for the current model)



Şekil 10. Simülasyon modelinin doğrulama çalışması (Validation study of the simulation model)

Tablo 6. Çalışmada kullanılan parametreler ve seviyeleri (Parameters and levels used in the study)

Parametre	Serbestlik derecesi	Level 1	Level 2	Level 3
Giriş mesafesi uzaklığı (cm)	2	2	4	6
Soğutucu tipi	2	kare	dairesel	altıgen
Kanat sayısı	2	16	25	36
Toplam SD	6			

kare, dairesel ve altıgen, ve kanat sayısı 16, 25 ve 36 alınmıştır (Tablo 6). Soğutma parametrelerinin seviyelerini temsil eden örneklerin sayısal değerleri ve Taguchi L9 ortogonal dizi kullanılarak seçilen simülasyon sırası Tablo 7'de ifade edilmiştir. Burada verilen değerler Minitab programına girilmiştir. 9 farklı değer ile Taguchi analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler, yayılan ısı ve basınç kaybı değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Yayılan ısı çıktı değeri maksimum, basınç kaybı değeri minimum amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

3.1.1. Yayılan ısı için optimizasyon çalışması (Optimization study for dissipated heat)

Soğutma işleminde 9 farklı senaryo ile hesaplanan yayılan ısı verileri Minitab 18 programında Taguchi analiz modülüne girilmiştir.

Sonrasında Taguchi analiz metodu kullanılarak ANOVA sonuçları elde edilmiştir. Tablo 8, elde edilen yayılan ısı ve hesaplanan S/N oran değerlerini göstermektedir. En fazla yayılan ısı değeri en büyük ortalama S/N oranında elde edilmektedir. Şekil 11a'da hesaplanan ortalama S/N oranlarının analizine göre optimum koşul olan en fazla yayılan ısı, en büyük ortalama S/N oranlarının elde edildiği 4 cm giriş mesafesi uzaklığı, dairesel soğutucu tipi ve 36 kanat sayısı olarak elde edilmiştir. ANOVA metodu bize tüm etmenlerin önemini ve birbirleri ile olan etkileşimlerini önceden incelememize imkan sağlar. Bu çalışmada parametrelerin birer birer katkısını elde etmek için ortalama S/N değerlerini kullanarak ANOVA yöntemi incelendi. Tablo 9'da verilen parametrelerin yayılan ısı üzerindeki etki oranları ile ANOVA sonuçları sunulmuştur. Bu yüzde oranları Şekil 11b'de ifade edilmiştir. Soğutma işleminde yayılan ısı üzerinde giriş mesafesi

Tablo 7. Taguchi ortogonal L9 dizisi kullanılarak seçilen parametreler ve seviyeleri
(Parameters and levels selected using the Taguchi orthogonal L9 array)

Ortogonal dizi	Analiz no	Giriş mesafesi uzaklığı (cm)	Soğutucu tipi	Kanat sayısı
111	1	2	kare	16
122	2	2	dairesel	25
133	3	2	altıgen	36
212	4	4	kare	25
223	5	4	dairesel	36
231	6	4	altıgen	16
313	7	6	kare	36
321	8	6	dairesel	16
332	9	6	altıgen	25

Tablo 8. Soğutma işleminde yayılan ısı miktarı ve hesaplanan S/N oranı
(The amount of heat dissipated in the cooling process and the calculated S/N ratio)

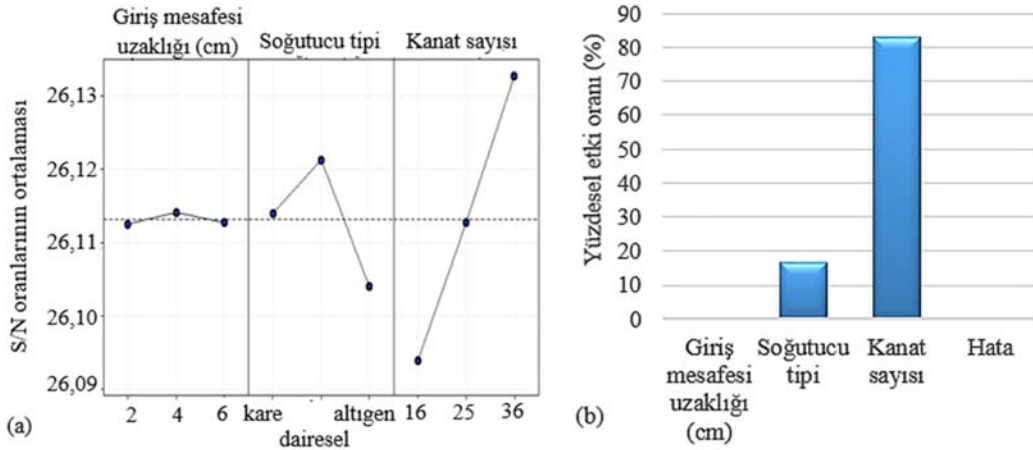
Ortogonal dizi	Yayılan ısı (W)	S/N oranı
111	20,174	-26,0937
122	20,230	-26,1199
133	20,240	-26,1241
212	20,220	-26,1156
223	20,280	-26,1414
231	20,150	-26,0855
313	20,260	-26,1328
321	20,190	-26,1027
332	20,190	-26,1027

Tablo 9. S/N Oranı için Varyans Analizi (Analysis of Variance for S/N ratios)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Giriş mesafesi uzaklığı (cm)	2	0,000005	0,000005	0,000002	1,05	0,488
Soğutucu tipi	2	0,000449	0,000449	0,000225	102,40	0,010
Kanat sayısı	2	0,002255	0,002255	0,001128	514,19	0,002
Residual Error	2	0,000004	0,000004	0,000002		
Total	8	0,002713				

Tablo 10. S/N Oranı için Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Ratios)

Level	Giriş mesafesi uzaklığı (cm)	Soğutucu tipi	Kanat sayısı
1	-26,11	-26,11	-26,09
2	-26,11	-26,12	-26,11
3	-26,11	-26,10	-26,13
Delta	0,00	0,02	0,04
Rank	3	2	1

**Şekil 11.** a) Farklı soğutma parametreleri için S/N oranı b) Parametrelerin soğutma için yayılan ısı üzerindeki etki yüzdeleri
(a-S/N ratio for different cooling parameters b-Percentage of influence of parameters on dissipated heat for cooling)

uzaklığının etkisinin yaklaşık %0,18, soğutucu tipinin etkisinin %16,54 ve kanat sayısının etkisinin ise %83,11 olduğu elde edilmiştir. Bu sonuca göre soğutma işlemi için yayılan ısı üzerine etki eden

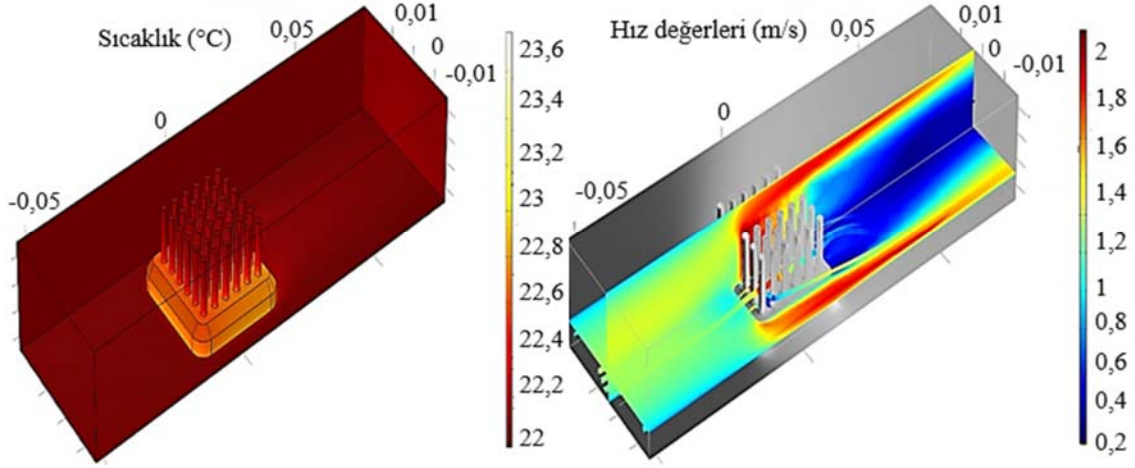
parametrelerin önem sırası kanat sayısı > soğutucu tipinin etkisi > giriş mesafesi uzaklığı olarak elde edilmiştir. Soğutma işleminde yayılan ısı üzerinde en önemli parametre kanat sayısıdır. Tablo 10'da S/N

oranı cevap sonuç tablosuna göre de en önemli (1 numaralı) parametrenin kanat sayısı olduğu görülmektedir. Şekil 12’de maksimum ısı yayıcılığı için kanal içi hız ve sıcaklık dağılımı verilmiştir. Optimum koşul için yayılan ısı miktarı 20,28 W olarak elde edilmiştir.

3.1.2. Basınç kaybı için optimizasyon çalışması (Optimization study for pressure loss)

Soğutma işleminde 9 farklı senaryo ile hesaplanan basınç kaybı verileri Minitab 18 programında Taguchi analiz modülüne girilmiştir. Sonrasında Taguchi analiz metodu kullanılarak ANOVA sonuçları elde edilmiştir. Tablo 11 elde edilen basınç kaybı ve hesaplanan S/N oran değerlerini göstermektedir. En az basınç kaybı değeri en büyük ortalama S/N oranında elde edilmektedir. Şekil 13a’da hesaplanan ortalama S/N oranlarının analizine göre optimum koşul olan en az basınç kaybı, en büyük ortalama S/N oranlarının elde edildiği 2 cm giriş mesafesi uzaklığı, dairesel soğutucu tipi ve 16 kanat sayısı olarak elde edilmiştir. ANOVA metodu bize tüm etmenlerin önemini ve birbiri ile olan etkileşimlerini önceden incelememize imkan sağlar. Bu çalışmada parametrelerin birer birer katkısını elde etmek için ortalama S/N değerlerini kullanarak ANOVA yöntemi incelendi. Tablo 12’de

verilen parametrelerin basınç kaybı üzerindeki etki oranları ile ANOVA sonuçları sunulmuştur. Bu yüzde oranları Şekil 13b’de ifade edilmiştir. Soğutma işleminde basınç kaybı üzerinde giriş mesafesi uzaklığının etkisinin yaklaşık %0,019, soğutucu tipinin etkisinin %12,64 ve kanat sayısının etkisinin ise %87,27 olduğu elde edilmiştir. Bu sonuca göre soğutma işlemi için basınç kaybı üzerine etki eden parametrelerin önem sırası kanat sayısı > soğutucu tipinin etkisi > giriş mesafesi uzaklığı olarak elde edilmiştir. Soğutma işleminde basınç kaybı üzerinde en önemli parametre kanat sayısıdır. Tablo 13’de S/N oranı cevap sonuç tablosuna göre de en önemli (1 numaralı) parametrenin kanat sayısı olduğu görülmektedir. Şekil 14’de en az basınç kaybı değeri için optimum koşullara ait hız ve sıcaklık dağılımları verilmiştir. Optimum durum için elde edilen en az basınç kaybı değeri 493,6 Pa olarak elde edilmiştir. TRIZ incelemesi sonucu elde edilen optimum koşullara ait yayılan ısı ve basınç kaybı değerleri Tablo 14’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 15’de Taguchi analizi sonuçları ile optimum ve mevcut duruma ait basınç kaybı ve yayılan ısı değerleri toplu olarak verilmiştir. Optimum durumda basınç kaybı değeri mevcut duruma göre azalırken, yayılan ısı değerinde artış görülmüştür. Dolayısı ile elde edilen bu sonuçlara göre yayılan ısı miktarında %6,6, basınç kaybı değerinde ise %14,14 oranında iyileştirme sağlandığı ifade edilebilir.



Şekil 12. Maksimum ısı yayıcılığı için elde edilen optimum değerlere ait analiz sonuçları
(The analysis results of optimum values obtained for maximum heat dissipation)

Tablo 11. Soğutma işleminde basınç kaybı değerleri ve hesaplanan S/N oranı
(Pressure loss values and calculated S/N ratio in cooling process)

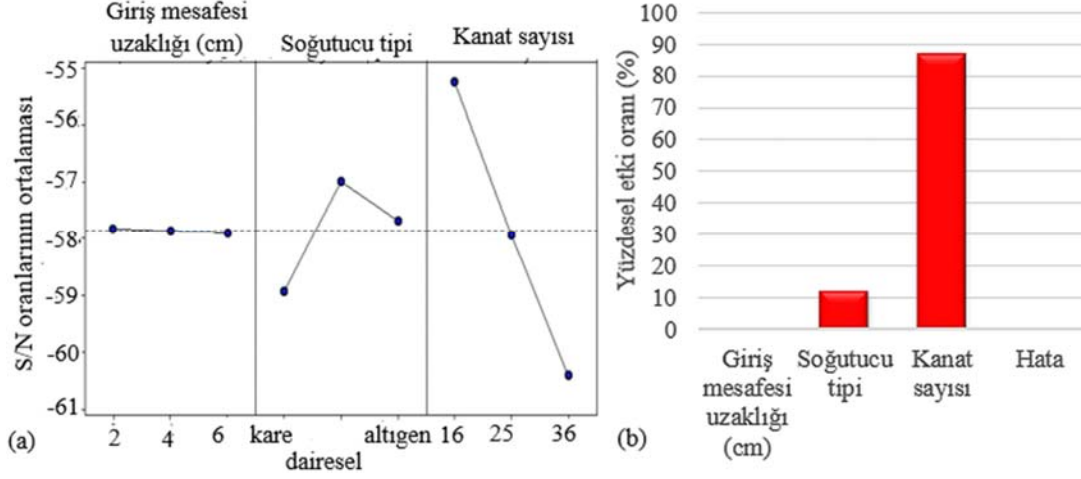
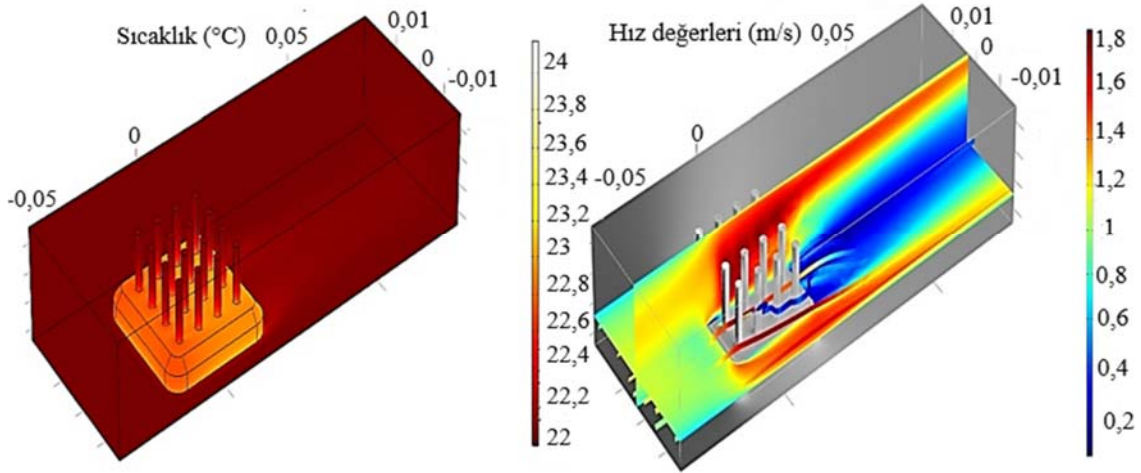
Ortogonal dizi	Basınç kaybı (Pa)	S/N oranı
111	655,30	-56,3288
122	704,20	-56,9538
133	1023	-60,1972
212	894,20	-59,0287
223	954	-59,5907
231	562,40	-55,0009
313	1178	-61,4229
321	526,70	-54,4313
332	781,10	-57,8534

Tablo 12. S/N Oranı için Varyans Analizi (Analysis of Variance for SN ratios)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Giriş mesafesi uzaklığı (cm)	2	0,0088	0,0088	0,0044	0,32	0,758
Soğutucu tipi	2	5,7675	5,7675	2,8838	209,47	0,005
Kanat sayısı	2	39,8101	39,8101	19,9050	1445,88	0,001
Residual Error	2	0,0275	0,0275	0,0138		
Total	8	45,6139				

Tablo 13. S/N Oranı için Yanıt Tablosu (Response Table for Signal to Noise Ratios)

Level	Giriş mesafesi uzaklığı (cm)	Soğutucu tipi	Kanat sayısı
1	-57,83	-58,93	-55,25
2	-57,87	-56,99	-57,95
3	-57,90	-57,68	-60,40
Delta	0,08	1,93	5,15
Rank	3	2	1

**Şekil 13.** a) Farklı soğutma parametreleri için S/N oranı b) Parametrelerin soğutma için basınç kaybı üzerindeki etki yüzdeleri (a-S/N ratio for different cooling parameters b-Percentage of influence of parameters on pressure loss for cooling)**Şekil 14.** Minimum basınç kaybı değeri için elde edilen optimum parametre değerlerine ait analiz sonuçları (Analysis results of the optimum parameter values obtained for the minimum pressure loss value)**Tablo 14.** Mevcut durum ile optimum koşullara ait elde edilen yayılan ısı ve basınç kaybı değerleri (The dissipated heat and pressure loss values obtained for the current situation and optimum conditions)

Çıktı değerleri	Mevcut durum	Optimum durum	İyileşme oranı (%)
Yayılan ısı (W)	18,94	20,28	6,6
Basınç kaybı (Pa)	574,9	493,6	14,14

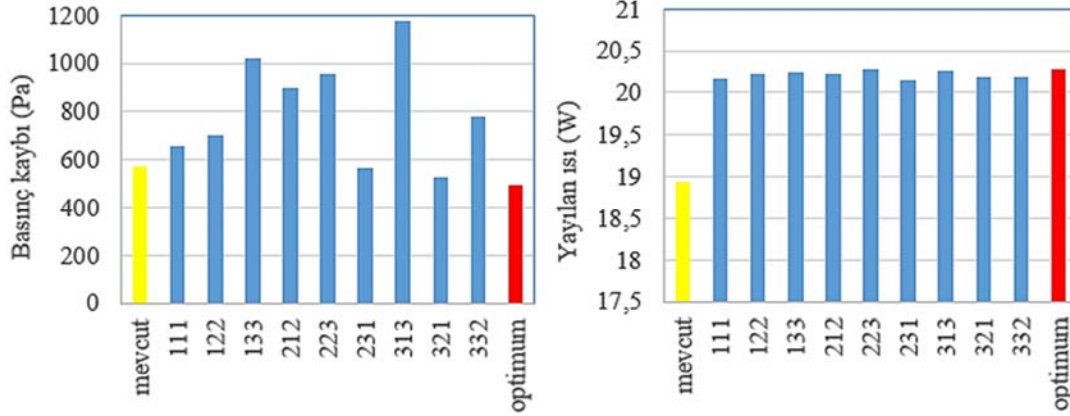
3.2. Taguchi Metodunun Doğrulama Çalışması (Validation Study of Taguchi Method)

Simülasyondan elde edilen veriler Taguchi yöntemi ile yapılan analiz sonucunda aynı zamanda tahmin edilebilir. Tablo 15'de her bir çıktıya ait tahmini S/N oranları kullanılarak optimum durumlar için Taguchi metodu kullanılarak elde edilen tahmini değerleri ve simülasyon

değerleri verilmiştir. Simülasyon değerleri ile tahmini değerlerin birbirine yakın olarak değiştiği görülmektedir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Yapılan çalışmada tasarım sürecinde inovatif çözüm bulunması ile birlikte optimum tasarım parametreleri tespit edilmiştir. İnovatif



Şekil 15. Taguchi analizinde yapılan 9 ortogonal dizi ile, mevcut ve optimum koşullara ait sonuç değerleri (The result values of the current and optimum conditions with 9 orthogonal arrays made in Taguchi analysis)

Tablo 15. Farklı sonuç çıktılarına ait tahmini hata değerleri (Estimated error values for different outputs)

Çıktı değerleri	Tahmini S/N oranı	Tahmini değer	Simülasyon değeri	Hata oranı (%)
Yayılan ısı	26,1419	20,2813	20,28	0,006
Basınç kaybı	-54,3371	495,772	493,6	0,43

çözüm için TRIZ yöntemi kullanılmıştır. TRIZ yönteminde ortaya konulan çelişkilerin çözümü ile yeni bir ürün geliştirilmesi amaçlanmıştır. TRIZ metodu ile farklı parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisinin incelenmesi için Taguchi analizi gerçekleştirilmiştir. Bu iki tekniğin birlikte kullanılması ile problemler çözülerek yenilikçi ürünlerin tasarımı mümkün hale gelebilecektir. Yeni geliştirilen ürün verimi yüksek, maliyeti düşük olması önemlidir. Yeniden tasarlanan soğutucunun maksimum ısı yayılımı verilerine göre en etkili parametrenin kanat sayısı (%83,11) olduğu tespit edilmiştir. Basınç kaybı çıktı değerine göre de en etkili parametrenin yine kanat sayısı (%87,27) olduğu görülmüştür. Optimum şartlara göre yeniden tasarlanan soğutucunun ısı yayılımı değeri %6,6 artarken, basınç kaybı verisi %14,14 azalmıştır. Bu sonuçlara göre iyileştirme yüzdesel etkisinin kabul edilebilir değerde olduğu söylenebilir.

Kaynaklar (References)

- Zhang J., Tang T.Q., Yan Y., Qu X., Eco-driving control for connected and automated electric vehicles at signalized intersections with wireless charging, *Applied Energy*, 282, 116215, 2021.
- Zhang Y., Liu X., Wei W., Peng T., Hong G., Meng C., Mobile charging: a novel charging system for electric vehicles in urban areas, *Applied Energy*, 278, 115648, 2020.
- Ding X., Du M., Duan C., Guo H., Xiong R., Xu J., Analytical and experimental evaluation of SiC-inverter nonlinearities for traction drives used in electric vehicles, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67 (1),146–59, 2017.
- Khoshvaght-Aliabadi M., Nozan F., Water cooled corrugated minichannel heat sink for electronic devices: Effect of corrugation shape, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 188–96, 2016.
- Van Erp R., Kampitsis G., Matioli E., Efficient microchannel cooling of multiple power devices with compact flow distribution for high power-density converters. *IEEE Transaction Power Electron*, 35 (7),7235–45, 2019.
- Liang J., Xu H., Yuan Z., Zhou P., High efficiency liquid cooling system of power electronic converter, *5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering*, 1270-1275, 2020.
- Sakanova A., Tong C.F., Nawawi A., Simanjorang R., Tseng K., Gupta A., Investigation on weight consideration of liquid coolant system for power electronics converter in future aircraft, *Applied Thermal Engineering*, 104, 603–615, 2016.
- Micheli L., Reddy K.S., Mallick T.K., General correlations among geometry, orientation and thermal performance of natural convective micro-finned heat sinks, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 91, 711–724, 2015.
- Cova P., Delmonte N., Chiozzi D., Portesine M., Vaccaro F., Mantegazza E., Water cold plates for high power converters: a software tool for easy optimized design, *Microelectron Reliability*, 88, 801–805, 2018.
- Han F., Guo H., Ding X., Design and optimization of a liquid cooled heat sink for a motor inverter in electric vehicles, *Applied Energy*, 291,116819, 2021.
- Sheng I.L.S., How K.B., Hoo T.E., Teaching, Learning & Applying TRIZ in University, *The 11th International Matrix Conference TRIZ*, 10-12 Eylül 2015.
- Terninko J., Zusman A., Zlotin B., *Systematic innovation: an introduction to TRIZ (theory of inventive problem solving)*, CRC press, ISBN 9781574441116, Published April 15, 1998.
- Canbulut F., Demirtaş B., Using Brainstorming and TRIZ Together in Design/Improvement Process - Example of Baza Scissors System. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7 (3) , 614-626, 2019.
- Canbulut F., Demirtaş B., Application of triz inventive principles to innovate the multi-tool drill machine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (1) , 317-328, 2022.
- Yang W., Cao G., Peng Q., Sun Y., Effective radical innovations using integrated QFD and TRIZ, *Computers & Industrial Engineering*,162, 107716, 2021.
- Lin Y.S., Chen M., Implementing TRIZ with Supply Chain Management in New Product Development for Small and Medium Enterprises, *Processes*, 9, 614, 2021.
- Spreafico C., Russo D., TRIZ Industrial Case Studies: A Critical Survey, *Procedia CIRP*, 39, 51–56, 2016.
- Altshuller G., *Creativity as an Exact Science*, Translated by Anthony Williams. Gordon & Breach, NY, 1988.
- Ko Y.T., Chen M.S., Yang C.C., Modelling a contradiction-oriented design approach for innovative product design, *Proc IMechE, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 299, 199–211, 2015.
- Güneş S., Ürün Tasarımı ve TRIZ, *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 2,133-146,2008.
- Shulyak L., Three steps for solving an inventive problem, In: Altshuller G (eds) *40 principles: TRIZ keys to technical innovation (TRIZ tools, vol. 1, 1st ed.)*. Worcester, MA: Technical Innovation Center, Inc.,107–108, 2001.
- The 40 TRIZ principles. http://www.triz40.com/aff_Principles_TRIZ.php. Erişim Tarihi Kasım 10, 2021.

23. Özkan N.F., Ada E.C., Genlik S., Toplam ekipman etkinliğinin iyileştirilmesinde TRIZ kullanımı: Bir uygulama, Verimlilik Dergisi, 2, 169-184, 2019.
24. Taguchi G., Introduction to quality engineering, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1990.
25. Çengel Y.A., Isı ve Kütle Transferine Pratik Bir Yaklaşım, 3.Basım, Güven Kitabevi, İzmir, 2011.
26. Pope S.B., Turbulent flows, Cambridge University Press; 2000.
27. Comsol Multiphysics 5.3.,Heat Transfer Module User's Guide, 2017.
28. Hussain A.A., Freegah B., Khalaf B.S., Towsyfyan H., Numerical investigation of heat transfer enhancement in plate-fin heat sinks: Effect of flow direction and fillet profile, Case Studies in Thermal Engineering, 13, 2019.