

## İNDÜKTİF ISITICI İLE ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ISITILMASI

Eray Tuğrul\*, Gizem Maviengin\*, Yrd.Doç.Dr.Birol Arifoğlu\*\*,  
Yrd.Doç.Dr. Sabri Çamur\*\*, Yeda Aydoğmuş\*\*\*

\*HEXAGON STUDIO, KOCAELİ

\*\* Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, KOCAELİ

\*\*\* Kormas Elektrikli Motor San. ve Tic. A.Ş., KOCAELİ

### ÖZET

Elektrikli araçlarda ısıtma sisteminin verimli çalışması enerji tüketimi açısından önemlidir. Mevcut araçlarda kullanılan ısıtıcı sistemleri fosil yakıt ile çalışmaktadır. Tam elektrikli araçlarda ısıtma sisteminin elektrikli olması gerekmektedir. Bu nedenle enerji tüketimi açısından verimli olduğu düşünülen indüksiyon ısıtıcının tasarımı yapılmıştır. Bu sistemlerde kaloriferde dolaşan su rezistans ile ısıtılmaktadır. Tasarımı yapılan indüktif ısıtıcının masaüstü prototip çalışmaları yapılarak sistemin ısıtmasının verimli olduğu görülmüştür. Ardından elektrikli araca montajı yapılarak performans testlerine bakılmıştır. Yapılan bu testlerde iç hava sıcaklığını -14°C'den yaklaşık 23°C ye kadar çıkabildiği görülmüştür. Ayrıca elektrik enerjisinden maksimum düzeyde faydalanabilmek için, elektrikli aracın tahrik motoru üzerinde oluşan kayıplardan meydana gelen ısının araç ısıtma sistemi içerisine dâhil edilmesi öngörülmüştür. Böylece dışarıya atılan ısı enerjisi sisteme dâhil edilerek elektrik enerjisinden tasarruf sağlanmış olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** İndüksiyonlu Isıtıcılar İle Isıtma Sistemi, Araçlarda Isıtma Sistemi

### HEATING ELECTRIC VEHICLE WITH INDUCTION HEATER

#### ABSTRACT

The efficient heating system is a critical system for energy consumption of an electric vehicle. Heating systems used fossil fuels in order to heat the conventional vehicles. The electric heating system should be set up for a full electric vehicle. Therefore, Induction heater is designed in order to get high energy efficiency. This system is heated by water circulating in the heating resistor. The inductive heating system was designed and set a desktop prototype of the system. According to the test results, the system worked efficiently. After the induction heater has been mounted on electric vehicles and tested. These tests shown internal air temperature increases from -14°C to about 23°C. Also, the excess heat generated in driving engine utilized in heating system in order to reduce energy consumption. Thus, by including the heat energy discharged from the energy saving system will be provided.

**Keywords:** Induction Heating System With Heaters, Heating System With Vehicles

### 1. GİRİŞ

Elektrikli araç üretiminde aracın ısıtılması problemi bir vaka olarak karşımıza çıkmaktadır. %100 elektrikli araç konseptine geçebilmek için ısıtma sisteminin elektrikli olması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu problemi çözebilmek için alternatif yöntemler araştırılmıştır. Bu

yöntemlerden biri de rezistanslı ısıtma sistemleridir. Bu sistemlerde kaloriferde dolaşan su, rezistans ile ısıtılmaktadır. Ancak rezistanslı sistemlerin bazı dezavantajları mevcuttur. Bunlardan biri ısının sadece rezistans üzerinde oluşması sebebi ile yaygın ısı merkezi oluşmamakta ve büyük oranda bölgesel ısı farklılıkları oluşmaktadır[1-3]. Bu ısı farkı genleşme farklılıklarına

sebepler olmakta, buna bağlı olarak gerilmeler artmakta ve malzeme yorulması hızlanmaktadır. Bu da bu tip ısıtıcıların ömrünü kısaltmaktadır[4]. Ayrıca üreticinin garanti süresi içerisindeki bakım giderleri artmaktadır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak amacıyla araç ısıtma sisteminin indüksiyon ısıtıcı olarak tasarlanması düşünülmüştür.

İndüksiyonlu ısıtıcılar çalışma prensipleri gereği ürettikleri ısıyı geniş alanda üretme özelliğine sahiptirler. Bu sebepten dolayı bölgesel ısı farkları minimize olmaktadır. Isı farklarının düşük olması malzeme yorulmasını geciktirmekte, bu da ısıtma sisteminin ömrünü uzatmaktadır[5, 6].

## 2. TASARIM ÇALIŞMALARI

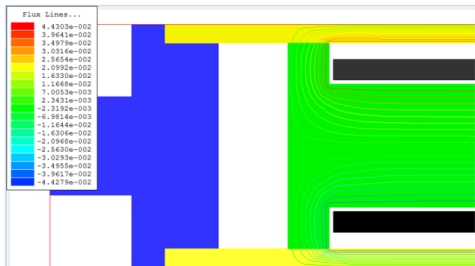
İndüksiyon sisteminin tasarımının yapılabilmesi için öncelikli olarak üretilecek olan sistemin kapasitesi belirlenip, bu kapasiteye göre hedefler belirlenmiştir.

Meteorolojinin istatistiklerine bakılarak kış şartlarından İstanbul'daki en düşük sıcaklıkların ortalaması yaklaşık  $-8^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Elektrik aracın iç bölgesinin ise  $25^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılması istenmiştir. Elektrikli aracın yapıldığı malzemelerin ısı transfer katsayılarının yardımı ile aracın her bölgesinde radyasyonla ve iletimle olan ısı kayıpları  $Q = AU\Delta T$  formülü ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların ardından toplam ısı kaybı yaklaşık olarak 5 kW çıkmıştır. Bu hesaba bağlı kalınarak tasarımı yapılacak olan indüktif ısıtıcı sisteminin kapasitesi 5 kW olarak hedeflenmiştir.

Tasarlanan indüksiyon sistemi iki ana yapıdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. İndüksiyon ısıtma kapsülü
2. Güç elektroniği ve kontrol sistemi

**İndüksiyon ısıtma kapsülü:** 5 kW olarak tasarlanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda ısı yoğunluğu 1500 W/kg baz alınarak ısı kapsülünün ön boyutlandırılması yapılmıştır. Bu boyutlarda kapalı bir manyetik devre tasarlanıp, CAD çizim programı ile çizimi oluşturulmuş, Maxwell isimli Manyetik Analiz Programına aktarılmıştır. Bu veriler kullanılarak yapılan analiz sonucunda tasarıma son şekli verilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan kapsülün akı yoğunluğu analizi

Şekil 1'de verilen manyetik analizlerin değerlendirilmesi sonucunda prototip imalatına başlanmıştır. Öncelikli olarak Şekil 2'de görülen kapsül

üretilmiştir.



Şekil 2. İndüksiyon ısıtma kapsülü üretim aşaması

Bu kapsamda bu proje için Maxwell manyetik analiz programını kullanılarak yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda başlıca elektriksel büyüklükler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler ile kapsülün Şekil 3'deki gibi bobinajı yapılmıştır.



Şekil 3. İndüksiyon ısıtma kapsülü bobinajı

Telin kapsüle sarımının ardından kapakları ve kılıfı bir araya getirilerek üretimi tamamlanmıştır. Ayrıca kapsülün üzerine  $80^{\circ}\text{C}$ 'lik termostat ve sıcaklık sensörü monte edilmiştir. Termostatın işlevi kapsülün yüzeyi  $80^{\circ}\text{C}$ 'ye geldiğinde ısınma duracaktır. Sıcaklık sensörü sayesinde kapsül belli bir dereceye kadar kendini ısıttıktan sonra sıcak sulu sistem araçta dolanmaya başlayacaktır. Bu sayede kapsülün suyu ısıtması daha hızlı olacaktır.



Şekil 4. İndüksiyon ısıtma kapsülü prototipi

**Güç elektroniği ve kontrol sistemi:** Doğru Akım (DA) ara devre geriliminin 300V-370V aralığında nominal gücünü üretebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bunun için

geri beslemeli PWM (Pulse With Modulation) kontrol yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca kontrol kartı ana panelden talep edilen güç değerini okuyarak istenilen talep gücünün üretilmesini de denetlemektedir. Tasarlanan güç elektroniği ve kontrol sistemi Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. İndüksiyon ısıtma güç ve kontrol sistemi

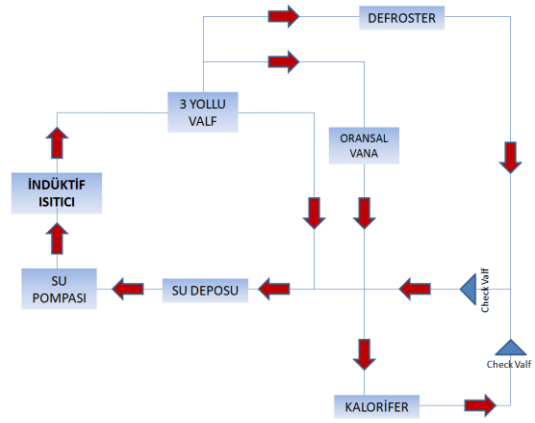
İndüksiyon kapsülünün giriş ve çıkışlarına EPDM hortum bağlanarak bir ucu su deposuna diğer ucu kalorifere bağlanmıştır. Ardından güç kontrol sistemi sayesinde indüktif ısıtıcı çalıştırılmıştır. Yaklaşık 15 dakika sonunda su deposundaki sıcak su 70°C’yi görerek başarılı bir performans sergilemiştir. Hazırlanan bu masaüstü prototip Şekil 6’daki gibidir.



Şekil 6. İndüksiyon ısıtıcı masaüstü prototip

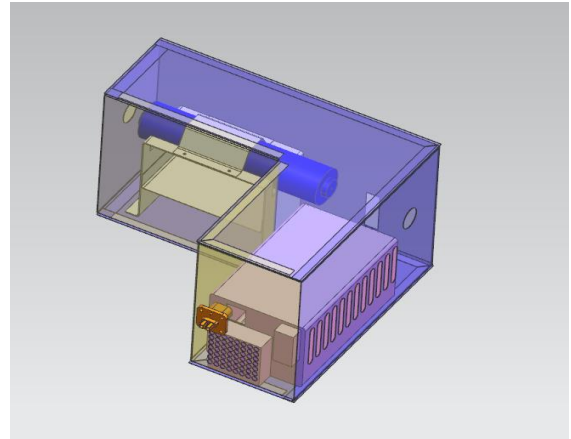
### 3. ELEKTRİKLİ ARACA KURGULAMA ÇALIŞMALARI

Elektrikli araca uygulanacak olan indüktif su ısıtıcının ısıtma çevrimi aşağıdaki gibidir. İndüktif kapsül 60°C’ye gelene kadar su 3 yollu vana sayesinde bypass edilecektir. Isıtıcılara suyu vermeyecektir. Su sıcaklığı 60°C’yi geçtiğinde 3 yollu vana yönünü değiştirip suyu defroster ve kalorifere vererek ısıtmayı sağlayacaktır. Isıtma çevrimi Şekil 7’deki gibidir.

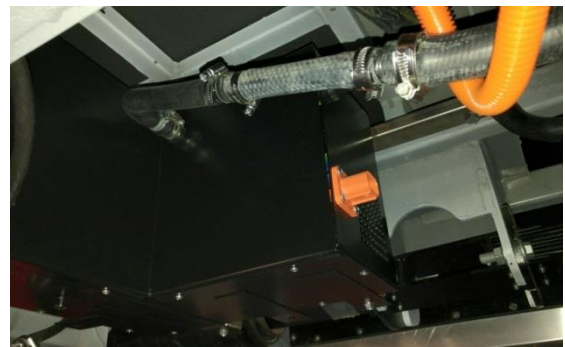


Şekil 7. İndüktif ısıtıcı çevrimi

İndüktif ısıtıcı sisteminin elektrikli araç üzerinde prototipinin hazırlanma çalışmaları yapılmıştır. Masaüstü prototipten farklı olarak sistemler biraz daha küçültülüp, sıcak suyun çevrimdeki gibi geçmesini sağlayacak yardımcı elemanlar olan check valfler, oransal vana ve 3 yollu vana eklenip elektrikli araca paketlenmiştir.



Şekil 8. İndüktif kapsül ve güç ünitesinin CAD ortamında paketlenmesi



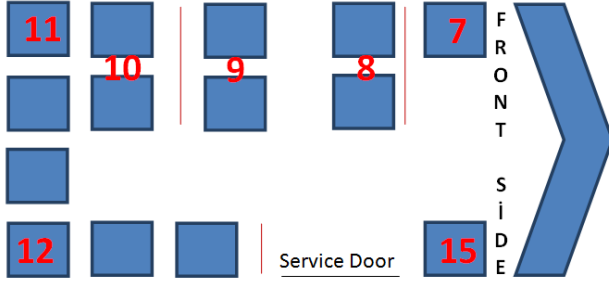
Şekil 9. İndüktif kapsül ve güç ünitesinin paketlenmesi

#### 4. ELEKTRİKLİ ARAÇTA İNDÜKTİF ISITICININ ISITMA TESTİ

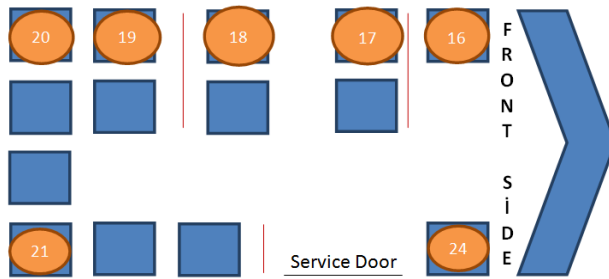
Tasarımı tamamlanan indüktif ısıtıcı sisteminin ısıtma testi yapılmıştır. Isıtma testlerinde bazı kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler;

- Dış ortam sıcaklığı:  $-14^{\circ}\text{C}$  ya da  $-9^{\circ}\text{C}$ ,
- İç ortam sıcaklığı:  $-14^{\circ}\text{C}$  ya da  $-9^{\circ}\text{C}$ ,
- Dış ortam sıcaklığı bu değerlere ayarlanır ve 5 dakika içinde en fazla  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar değişebilir.
- Test süresi 1800 saniyedir.
- Test süresi boyunca dış ortam sıcaklığı  $-14^{\circ}\text{C}$  alındıysa test başından test sonuna kadar değişen sıcaklık miktarı en az  $35^{\circ}\text{C}$ , dış ortam sıcaklığı  $-9^{\circ}\text{C}$  alındıysa değişen sıcaklık miktarı  $30^{\circ}\text{C}$  olmalıdır.

İndüktif ısıtıcının performans testlerinin yapılabilmesi için şartlandırılmış oda, veri toplama cihazı ve T tipi termokupullar kullanılmıştır. Elektrikli minibüs şartlandırılmış odaya alınmadan önce enstrümantasyonları yapılmıştır. Yapılan enstrümantasyonlar sırasında VTI veri toplama cihazı ve 27 adet T tipi termokupl kullanılmıştır. Kullanılan termokupullar Şekil 10 ve Şekil 11'de konumlandırıldıkları bölümleri göstermektedir.



Şekil 10. Koltuk bölgesindeki termokupullar



Şekil 11. Hava çıkış bölgelerine konumlandırılmış termokupullar

Enstrümantasyonu yapılan elektrikli araç 1800 saniye boyunca şartlandırılmış odada test edilmiştir. Test süresince veri toplama cihazı ile sıcaklık değerleri sürekli ölçülerek kaydedilmiştir. Testte alınan ölçüm sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de aracın teste başladığı

ilk andaki sıcaklığı ( $T_1$ ), 1800 saniye sonundaki sıcaklığı ( $T_2$ ) ve bu iki sıcaklığın değişimi ( $\Delta T$ ) verilmiştir.

Tablo 4. İndüktif ısıtıcı ısıtma performans test sonuçları

		$T_2$	$T_1$	$\Delta T$		
BLOWERS & DEFROSTER	1	Left Side 1st blower	-10,27	26,62	36,89	
	2	Middle side – 2nd blower	-11,92	25,79	37,71	
	3	Right side – 3rd blower	-13,82	24,05	37,87	
	5	Left Side 1st defroster	-13,04	23,16	36,2	
	6	Right Side 3rd defroster	-12,51	24,56	37,07	
		Average	-12,31	24,84	37,15	
SEATS	7	Driver seat	-12,72	22,92	35,64	
	8	Left side - 1st seat	-13,77	22,38	36,15	
	9	Left side - 2nd seat	-13,42	22,77	36,19	
	10	Left side 3rd seat	-13,16	22,36	35,52	
	11	Left side 4th seat	-12,39	23,49	35,88	
	12	Right side – 3rd seat	-12,07	23,91	35,98	
	13	Right side – 2nd seat	-12,63	23,52	36,15	
	14	Right side – 1st seat	-11,88	24,03	35,91	
	15	Right side – front passenger seat	-12,36	23,16	35,52	
		Average	-12,71	23,17	35,88	
	FOOT	4	Pedal Zone	-12,62	23,14	35,76
		16	Left Side – Driver foot zone	-12,43	24,56	36,99
		17	Left Side – 1st passenger foot zone	-11,52	24,41	35,93
		18	Left Side – 2nd passenger foot zone	-11,68	24,03	35,71
		19	Left Side – 3rd passenger foot zone	-11,96	23,84	35,80
20		Left Side – 4th passenger foot zone	-12,44	22,65	35,09	
21		Right Side – 3rd passenger foot zone	-13,15	22,23	35,38	
22		Right Side – 2nd passenger foot zone	-13,02	23,15	36,17	
23		Right Side – 1st passenger foot zone	-13,56	22,63	36,19	
24		Front passenger foot zone	-12,96	22,24	35,2	
25		Corridor foot zone	-13,31	21,84	35,15	
26	Passenger heater air out	-12,06	23,13	35,37		
	Average	-12,58	23,15	35,71		
Average Ambient			-14,62			

Yukarıdaki Tablo 4'de test başında ve sonunda ölçülen sıcaklıklar verilmiştir. İç hava sıcaklığını  $-14^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarladığımız için testin uygun olması gereken  $\Delta T$  sıcaklık değeri minimum  $35^{\circ}\text{C}$  olması gerekmektedir. Yukarıdaki tabloya bakıldığında bütün  $\Delta T$  sıcaklık değerleri  $35^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindedir.

#### 5. SONUÇLAR

Tubitak tarafından desteklenen bu proje ile elektrikli konseptine geçebilmek için tasarımı yapılan  $5\text{kW}$ 'lık indüktif ısıtıcı ile iç ortam sıcaklığı  $-12^{\circ}\text{C}$ 'den yaklaşık  $23^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkarabildiği görülmüştür. Paket alanı olarak küçük bir yer kaplamaktadır ancak yapılan çalışmalar neticesinde bu sistem daha küçük ve daha verimli hale getirilebilecektir. Ayrıca elektrik

enerjisinden maksimum düzeyde faydalanabilmek için, elektrikli aracın tahrik motoru üzerinde oluşan kayıplardan meydana gelen ısının araç ısıtma sistemi içerisine dâhil edilmesi öngörülmüştür. Böylece dışarıya atılan ısı enerjisi sisteme dâhil edilerek elektrik enerjisinden tasarruf sağlanmış olacaktır.

#### KAYNAKLAR

1. Rudnev V., Loveless D., Cook R., Black M. (2003), **“Handbook of Induction Heating”**, Marcel Dekker, New York.
2. Davidson P. A.(2006), **“An Introduction to Magnetohydrodynamics”**, Cambridge University Press, Cambridge.
3. Proceedings of the 5th International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials, The Iron and Steel Institute of Japan, 2006.
4. Metaxas A.C.(1996), **“Foundations of Electroheat. A Unified Approach”**, John Wiley & Sons, Chichester.
5. Curran J.S., Featherstone A.M. (1998), **“Electric-Induction Fluid Heaters”**, Power Engineering Journal,2(3), 157-160.
6. Sadakata H., Nakaoka M., Yamashita H., Omori H., Terai H. (2002), **“Development of Induction Heated Hot Water Producer Using Soft Switching PWM High Frequency Inverter”**, IEEE, PCC-Osaka-2002, Vol.2, 452-455.