

05 - 06 Kasım 2025
Ankara

Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Al-Cu Bimetalik Baralarda Akım Kaynaklı Isıl Davranışının İncelenmesi

Baran Karahan , Hüseyin Alptekin , Sercan Toptancı, Omran Alabedalkhamis ,
İbrahim İdiz

Bildiri ID numarası:0120



Özet

Alüminyum-bakır (Al-Cu) bimetal baralar, bakırın yüksek iletkenliği ile alüminyumun hafiflik ve korozyon direncini birleştirerek elektrik iletiminde verimli bir çözüm sunar. Bu çalışmada, farklı bakır oranı ve kesit boyutlarına sahip bimetal baraların elektriksel ve termal davranışları sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Analizler, düşük bakır oranında akımın yüzeyde yoğunlaşmış ısınmayı artırdığını; bakır oranı ve kesit büyüdükçe sıcaklık artışının azaldığını göstermiştir. %30 bakır içeren 40x6 mm bimetal bara, saf bakır bara ile benzer performans sergilemiştir.

Yöntem

Endüstride yaygın kullanılan 40 mm genişliğe sahip bimetal baralar modellenmiştir. Kalınlık 5 mm (200 mm²) ve 6 mm (240 mm²) olarak belirlenmiş, bakır oranı %20-%100 arasında değiştirilmiştir. Böylece sekiz farklı numune oluşturularak bakır oranının akım yoğunluğu ve ısı performansına etkisi incelenmiştir. Numunelerin geometrik özellikleri ve bakır oranları aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Numune Adı	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Bakır oranı (%)
20Cu-1	40	5	200	20
30Cu-1	40	5	200	30
40Cu-1	40	5	200	40
100Cu-1	40	5	200	100
20Cu-2	40	6	240	20
25Cu-2	40	6	240	25
30Cu-2	40	6	240	30
100Cu-2	40	6	240	100

Bakır ve alüminyumun elektriksel ve termal özellikleri aşağıda verilen Tablo 'daki gibi Elmer FEM ortamına tanımlanmıştır. Bakırın yüksek iletkenliği ve ısı iletkenliği yüzeydeki ısı iletimini artırırken, alüminyumun düşük yoğunluğu ve yüksek özgül ısı ısının yayılımını kolaylaştırmıştır. Bu farklılıklar, bimetal yapıdaki sıcaklık dağılımının doğru modellenmesi açısından önemlidir.

Özellik	Bakır (Cu)	Alüminyum (Al)	Birim
Elektrik iletkenliği	5,998x10 ⁷	3,7x10 ⁷	S/m
Isıl iletkenlik	400	235	W/m·K
Yoğunluk	8960	2700	kg/m ³
Özgül ısı			
Kapasitesi	385	903	J/kg·K
Bağıl geçirgenlik	1	1	-

Simülasyon senaryolarına aşağıda tabloda verilen parametreler uygulanmıştır.

Parametre	Değer	Birim
Uygulanan akım	520	A
Bakır yüzey emisivitesi	0.03	-
Alüminyum yüzey emisivitesi	0.04	-
Doğal taşınım katsayıları	8,65	W/m ² ·K
Ortam sıcaklığı	25	°C

Bulgular

Elmer FEM yazılımı üzerinden yapılan farklı bakır oranlarına ve kesit alanlarına sahip Al-Cu bimetal baralarla ilgili sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilen tabloda listelenmiştir.

Numune Adı	Kesit Alanı (mm ²)	Bakır oranı (%)	(ΔT)	J(Cu) (A/mm ²)	J (Al) (A/mm ²)
20Cu-1	200	20	41,5	3,82	2,36
30Cu-1	200	30	39,2	3,61	2,23
40Cu-1	200	40	37,2	3,43	2,11
100Cu-1	200	100	29	2,67	0
20Cu-2	240	20	34	3,19	1,97
25Cu-2	240	25	33	3,1	1,91
30Cu-2	240	30	31,7	2,99	1,88
100Cu-2	240	100	23,8	2,24	0

Tartışma

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere, bakır oranı arttıkça sıcaklık farkı değerlerinde belirgin bir azalma meydana gelmiştir. 20Cu-1 numunesinde sıcaklık farkı 41,5 K iken, 100Cu-1 numunesinde bu değer 29,2 K'ye düşmüştür. Benzer şekilde 20Cu-2 numunesinde 34,8 K olan sıcaklık farkı, 100Cu-2 numunesinde 23,8 K olarak hesaplanmıştır. 30Cu-2 numunesinin ısınma değeri 31,7 K olup 100Cu-1 numunesine oldukça yakın bulunmuştur. Bu durum, bakırın yüksek iletkenliği sayesinde omik kayıpları azaltarak ısı performansını iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca kesit alanı daha büyük olan numunelerde sıcaklık değerleri daha düşük gözlemlenmiştir.

Bakır oranı arttıkça, bakır ve alüminyum tabakalarındaki akım yoğunluğu azalmıştır. Örneğin 20Cu-1 numunesinde bakır akım yoğunluğu 3,82 A/mm² iken, 100Cu-1 numunesinde 2,67 A/mm²'ye gerilemiştir. Buna karşılık, aynı numunelerde alüminyum tabakasındaki akım yoğunluğu 20Cu-1'de 2,36 A/mm² iken, 40Cu-1'de 2,11 A/mm²'ye gerilemiştir. Bu eğilim, akımın yüksek iletkenlik nedeniyle büyük oranda bakır üzerinden geçtiğini göstermektedir.

Isınma ve akım yoğunluğu analizleri birlikte değerlendirildiğinde, 30Cu-2 numunesinin 100Cu-1 numunesine benzer performans sergilediği ve alternatif olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sonuç

- Bakır oranı ve kesit alanı, bimetal baraların elektriksel ve ısı performansını belirlemektedir.
- Artan bakır oranı ve kesit alanı, akım yoğunluğunu dengeler ve sıcaklık artışını azaltmaktadır.
- 30Cu-2 numunesi, 100Cu-1'e benzer performans göstererek optimum tasarım için uygun bulunmuştur.
- Optimum bakır-alüminyum oranı, yüksek verim ve düşük maliyet açısından kritik öneme sahiptir.