

AX20 LC 001

Isınma ve Verim Kaybı

Çift stator – tek rotor eksenel akı marin motorunda yüksüz çalışmada görülen mıknatıs diski ısınmasının ve dinamometrede ölçülen düşük verimin olası nedenleri, kayıp ayrıştırması, test planı ve tasarım önerileri

RAPOR KONUSU

Mıknatıs diski (rotor) aşırı ısınması

MOTOR

AX20 LC 001 · 20 kW · 150 Nm · 1500 rpm

KAYNAKLAR

Soru-cevap · Rotor fotoğrafları · Dinamometre testi
(26.10.2026) · İnceleme Raporu · Föy CMT-DS-20A

RAPOR TARİHİ

27.10.2026

TOPOLOJİ

2 stator + 1 disk · 18 oluk / 20 kutup

DURUM

Ön analiz — ölçümle doğrulanacak

KISA SONUÇ

Mıknatısların içine yerleştirildiği **alüminyum disk**, her mıknatısın çevresinde kısa devre edilmiş bir sarım gibi çalışıyor. Açık oluklardan kaynaklanan akı dalgalanması bu halkalarda büyük dolaşım akımları sürüyor; ısı doğrudan rotorda üretiliyor ve rotorun ısınıp atacak iyi bir yolu yok. Tablo, **yüksüzde bile rotorun ısınması** gözlemiyle birebir örtüşüyor. Dinamometrede orta yükte **%78–83** verim ölçüldü; maksimum tork noktasındaki (150 Nm) 6,9 kW'lık kaybın yaklaşık yarısı devirle (rotor tarafı), yarısı akımla (sargı/sürücü tarafı) artmaktadır.

60–100 °C

YÜKSÜZ ÇALIŞMADA ROTOR SICAKLIĞI

1,5 kWYÜKSÜZ KAYIP @ 1500 RPM
(DC 16 A) · SAĞLIKLI $\leq 0,45$ KW**%78–83**ÖLÇÜLEN VERİM DC→MİL ·
ORTA YÜK (5–12 KW)**150 °C**SH MIKNATIS ÜST SINIRI ·
YÜK ALTINDA RİSK

Isınma yüksüzken de oluşuyor ve en sıcak bölge rotor. Yüksüzde sargı akımı küçük olduğundan bakır (I^2R) kayıpları bu tabloyu açıklamaz: ısı rotorun kendisinde, manyetik alanın değişiminden doğan **girdap akımlarıyla** üretiliyor. Rotorun ısınıp atabileceği tek yol iki hava aralığı ve mil olduğu için birkaç yüz watt'lık bir kayıp bile diski 60–100 °C'ye taşımaya yeter.

ANA BULGU — İSTENMEDEN YAPILMIŞ BİR SÖNÜMLEME KAFESİ

Mıknatıslar diskin içinden geçen ceplere oturduğu için her mıknatısın etrafında **kapalı bir alüminyum halka** var. Mıknatıs açık olukların önünden geçerken akısı 18 × devir/60 frekansında (1500 rpm'de **450 Hz**) dalgalanıyor ve bu dalgalanma halkada yüzlerce amper mertebesinde dolaşım akımı sürüyor. Aynı halka, PWM dalgalılığını ve yük altındaki stator harmoniklerini de yakalıyor. Rotor fotoğrafları halkayı doğruluyor: mıknatıslar alüminyum pencerelerde; B yüzünde ağların üstünde yalnız 2 mm FR4 kaplama var (Bölüm B2).

DİNAMOMETRE BULGUSU — 26.10.2026

Maksimum tork noktasında (1005 rpm / 150 Nm) 22,7 kW DC girişe karşılık 15,8 kW mil gücü: **6,9 kW kayıp**. Bu kaybın **~3,6 kW'ı devirle** artıyor (rotor/demir tarafı — ana bulguyu destekliyor), **~3,3 kW'ı akımla** artıyor (sargı/sürücü tarafı — ikinci, bağımsız bir iyileştirme alanı). Verimin orta yükte %78–83'e çıkıp maksimum torkta düşmesi, kayıpların önemli kısmının yükte büyüdüğünü gösteriyor (bkz. Bölüm D2).

Olası Nedenler — Önceliklendirilmiş

#	OLASI NEDEN	OLASILIK	ISINAN YER	DAYANAK
1	Al disk cepleri → mıknatıs çevresinde kısa devre halkası	ÇOK YÜKSEK	Rotor	Yüksüzde rotor ısınıyor · disk alüminyum · açık oluk · 18/20
2	Tek parça NdFeB mıknatıslarda girdap akımı	YÜKSEK	Mıknatıs	Segmentasyon yok; aynı harmonik kaynağı
3	Açık oluk → güçlü oluk harmonikleri (1 ve 2'yi besler)	YÜKSEK	Rotor	Açık oluk · kutup adımı 18° < oluk adımı 20°
4	Sargı / akım tarafı kayıpları (bakır, tork sabiti, sürücü)	YÜKSEK	Stator sargısı	Dinamometre: 150 Nm'de ~3,3 kW akımla artan kayıp
5	İkincil nedenler: PWM dalgalılığı, hava aralığı asimetrisi, rulman, enkoder ofseti	ORTA-DÜŞÜK	—	Ayrıntı ekte (ısınma-raporu-ek.pdf)

YÜK ALTINDA RİSK

Yüksüzde 60–100 °C'ye çıkan rotor, 150 Nm sürekli yükte daha da ısınır: 18/20 sargının 8. mertebe MMF harmoniği akımla büyür ve aynı alüminyum halkalarda ek kayıp üretir. SH sınıfı mıknatısta **150 °C** sınırına yaklaşma ve kalıcı mıknatıslık kaybı riski vardır. **Rotor sıcaklığı ölçülmeden uzun süreli anma yükü testi yapılmamalıdır.**

İLK ÜÇ ADIM

- Uçlar açık, dışarıdan tahrikli yüksüz koşu (T1):** ısının kaynağı manyetik mi (oluk), sürücü mü (PWM)?
- Disk üzerine geri dönüşsüz termal etiketler (T2):** en sıcak nokta mıknatısları çevreleyen alüminyum ağırlarda mı?
- Rotor revizyonu için FEA:** mıknatıs bölgesinde iletken olmayan taşıyıcı veya halkaları kesen yarıklar + segmentli mıknatıs.

Çözümler, ölçülen kayıp ayrıştırmasına göre kazandırdıkları güce göre sıralandı. Küçük ve ikincil konular ayrı ekte toplandı (isinma-raporu-ek.pdf); bu rapor yalnız büyük kazanç getiren adımlara odaklanır.

#	ÇÖZÜM	HEDEFLİDİĞİ KAYIP	BEKLENEN KAZANÇ	MALİYET / SÜRE	BELİRSİZLİK
1	Rotor girdap kaybını kesmek — önce mevcut diske R2 (bileziğe 20 kesik), ardından kalıcı paket: kesikler resme işlenir + A yüzüne de 2 mm FR4 (R1) + segmentli mıknatıs (R3)	Yüksüz 1,5 kW'ın (1500 rpm) ~1,1 kW'ı; yük altındaki rotor girdap payı	Yüksüz 1500 rpm: 1,5 → ~0,4–0,7 kW · 1000 rpm / 150 Nm: 6,9 → ~3,7–4,5 kW · yalnız kesikle orta yükte +2–5 puan	DÜŞÜK R2 mevcut diske · ORTA kalıcı paket, mevcut imalat	Rotor payı R2 testiyle doğrudan ölçülür
2	Sargı / akım tarafı kaybını düşürmek (R10) — faz direnci, tork sabiti (mıknatıs payı ~%60), sürücü	150 Nm'de ~3,3 kW akımla artan kayıp	%90 için ~1,4 kW'a inmeli → tam torkta ~1,9 kW	ÖLÇÜM UCUZ (T9, T10) · çözüm orta-yüksek	Bakır / sürücü / PWM payı bilinmiyor
3	Oluk kaması / yarı kapalı oluk (R4)	Oluk harmonikleri — rotor girdaplarının ve sargı AC kaybının kaynağı	1. adımdan sonra kalan kayıpları küçültür	ORTA stator	FEA gerekli

Kazanç Seyirde En Büyük

// Pervane eğrisinde seyir: 1000 rpm, 67 Nm → 7,0 kW mil gücü (kaba tahmin; kayıp parçaları Bölüm D)
 Bugün: yüksüz 0,88 + akımla $3,3 \times (67/150)^2 \approx 0,65$ + yük×devir $2,7 \times (67/150)^2 \approx 0,53$ → 2,1 kW → verim ≈ %77
 Kalıcı paket: yüksüz ≈ 0,2–0,35 + akımla 0,65 + yük×devir 0,1–0,35 → 1,0–1,35 kW → verim ≈ %84–88
 // Tam tork: 1000 rpm, 150 Nm → 15,8 kW
 Bugün 6,9 kW → kalıcı paketle ~3,7–4,5 kW (verim ~%78–81) → + sargı tarafı ≈ 1,8–2,6 kW (verim ≈ %86–90)

Marin tahrikte motor zamanının çoğunu kısmi yükte geçirir. Orada kaybı yüksüz terim belirler; bu yüzden 1. adım hem en ucuz hem en büyük günlük kazancı getirir. Bugünkü ~%77 tahmini, ölçülen orta yük verimiyle (%78–83) tutarlıdır. Tam torkta ise 2. adımın etkisi belirginleşir.

NEDEN BU SIRA?

- 1. **adım** mevcut diske uygulanabilir; sonucu tek ölçümle görülür: 1500 rpm'de yüksüz DC akım 16 A → hedef 3–5 A.
- 2. **adımdan** önce hangi kalemin büyük olduğu ölçülmeli; faz direnci ölçümü dakikalar sürer.
- 3. **adım** kaynağı küçültür ama sargı yöntemini etkiler; FEA ile karar verilir.

EKTE TOPLANANLAR

PWM dalgalılığı ve çıkış şoku · hava aralığı asimetrisi ve statorlar arası dolaşım akımı · rulman ve enkoder ofseti · ısı genleşme · yarı oluk kaydırma · geçme revizyonu · mıknatıs sınırı · rotor sıcaklık izleme · ikincil testler (T4–T8) · test yazılımı filtre ayrıntısı · füy tutarsızlığı · tam kalınlık FR4 ağ / kompozit disk (üretimi zor).

Aşağıdaki bilgiler 27.10.2026 tarihli soru-cevap oturumunda ekip tarafından verilmiştir. Üçüncü sütun, her cevabın ısınma açısından ne anlama geldiğini özetler.

KONU	CEVAP	ISINMA AÇISINDAN ANLAMI
Topoloji	2 stator + ortada 1 mıknatıs disk	Rotorun doğrudan soğutması yok; ısı yalnızca iki hava aralığı ve mil üzerinden atılır.
Disk yapısı	Al disk, mıknatıslar diskin içinden geçen ceplerde	Her cebin çevresi kapalı iletken halka → kısa devre sarımı .
Isınan bölge	Mıknatıs disk / rotor	Kayıp rotorda üretiliyor; sargı I^2R 'si birincil neden değil.
Isınma koşulu	Yüksüz dönerken bile	Akımdan bağımsız (oluk harmonikleri) veya sürücü kaynaklı (PWM) kayıp.
Yüksüz test	Kendi sürücüsüyle, PWM aktif	PWM katkısı ayrıştırılmamış — T1 testi gerekli.
Stator nüvesi	Sarılmış laminasyon	Stator demir kaybı makul düzeyde; rotoru doğrudan ısıtmaz.
Oluk ağzı	Açık oluk	Oluk harmonikleri en yüksek seviyede; rotor kayıplarının ana besleyicisi.
Stator bağlantısı	İki stator paralel	Eşdeğer endüktans yarıya iner (PWM dalgalılığı artar); EMK farkı dolaşım akımı üretir.
Hava aralığı	1,5–2,5 mm / taraf	Makul; açık oluk etkisini kısmen yumuşatır, ortadan kaldırmaz.
Oluk / kutup	18 oluk / 20 mıknatıs	Kutup adımı $18^\circ < \text{oluk adımı } 20^\circ$; güçlü 8. mertebe MMF harmoniği.
Mıknatıs	Tek parça NdFeB, sınıf SH ($\leq 150^\circ\text{C}$)	Mıknatıs içi girdap akımı serbestçe dolaşır; sıcaklık payı sınırlı.
PWM frekansı	$\geq 16\text{ kHz}$	Uygun; dalgalılık asıl olarak endüktansa bağlı.
Rotor sıcaklığı	$60\text{--}100^\circ\text{C}$ (yüksüz)	Ölçüm yöntemi, devir ve süre kayda alınmalı.
Yüksüz akım	Faz 5–20 A (sürücü) · DC 9,4 A @ 1000 rpm, 16 A @ 1500 rpm	Yüksüz kayıp 0,88 / 1,53 kW — sağlıklı değer $\sim 3\text{--}6$ katı (Bölüm D).
Ölçülen verim	En iyi %83 (orta yük, 5–12 kW), ortalama %78–80	Orta yükte tepe yapması, kayıpların önemli kısmının yükte arttığını gösterir.
Dinamometre (26.10)	DC bara girişi · tork sensörü · faz direnci ölçülmedi	Maksimum tork noktası (1005 rpm / 150 Nm): kayıp 6,9 kW — ayrıştırma Bölüm D2'de.

Arşiv Dokümanlarından

- Volan (mıknatıs disk):** alüminyum, ham ölçü $\varnothing 310 \times 20\text{ mm}$, bitmiş kalınlık **15 mm**; çevresel bölünme **$20 \times 36^\circ$** , $40 \times \varnothing 5$ delik. Parça adı "18 kutup" — gerçekte **18 oluk / 20 kutup** olduğu bu oturumda teyit edildi. (İnceleme Raporu, EK-4)
- Alaşım: 7075** (ekip teyidi, 27.10.2026). Resimdeki "Alüminyum 7035" ifadesi yazım hatasıdır, resim revizyonunda düzeltilmeli. 7075'in iletkenliği $\approx 33\text{ IACS}$ ($\rho \approx 5,2 \cdot 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$); bu rapordaki hesaplarda bu değer kullanıldı.
- Volan göbek geçmesi $\varnothing 60\text{ H8/h8}$:** ölçülen en kötü durumda **0,063 mm** radyal kaçıklık. (B-02)
- Rulman yatakları:** iç ve dış bilezikte gevşeklik; rotor eksen eğilebilir, hava aralıkları çevresel ve eksenel olarak eşitsizleşir. (B-04, C-04)
- Mıknatıs kilidi:** B yüzündeki 2 mm yeşil FR4/G10 plakalar Al ağırlara deliklerden perçinleniyor ve mıknatısları kafese eksenel olarak kilitliyor; ağırların kendisi alüminyum, 13 mm (Bölüm B2).
- Mil:** paslanmaz 316/320 — manyetik değil, akı yolunda değil; ısınmada rolü yok.

27.10.2026'da paylaşılan iki fotoğraf aynı rotorun iki yüzünü gösteriyor. İki yüz farklı yapılmış; bu fark hem kaybın nerede oluştuğunu hem de en temiz çözümü işaret ediyor.



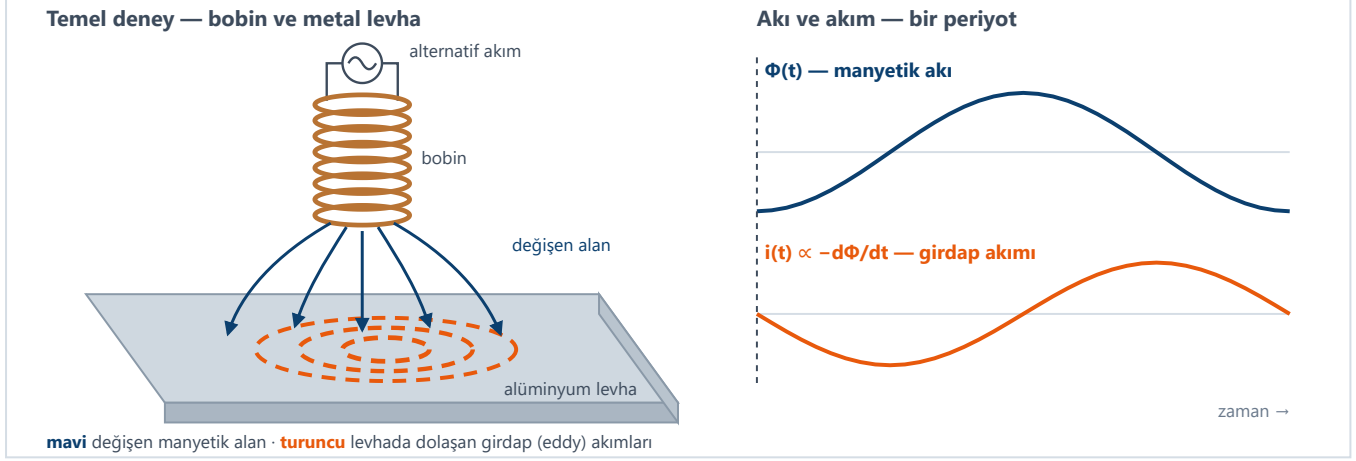
Şekil 1 — Sol: A yüzü. Sağ: B yüzü. 1 Al ağ (perçinli) · 2 dış bilezik · 3 iç halka · 4 mıknatıs (tek parça) · 5 FR4/G10 dış · 6 dış bilezik · 7 mıknatıs · 8 iç halka (Al). Kırmızı: alüminyum, yeşil: yalıtkan, mavi: mıknatıs.

#	GÖZLEM	ANLAMI
1	A yüzü: mıknatıslar alüminyumdaki pencerelere oturmuş; dört tarafı alüminyum (bilezik, iki ağ, iç halka).	Her mıknatısın etrafında kapalı alüminyum halka fiziksel olarak mevcut — N-1 doğrulandı.
2	B yüzü: mıknatıs araları 2 mm kalınlığında yeşil FR4/G10 plakalar; Al ağlara perçinli, mıknatısları aksel kilitliyor. Altında alüminyum ağ devam ediyor (15 mm'nin 13 mm'si).	FR4 yalnız yüzeyi kaplıyor; halka 13 mm kalınlığındaki Al ağlar üzerinden kapanıyor.
3	A yüzünde aktif bölgenin gözle ~%40'ı statora 1,5–2,5 mm'den bakan düz alüminyum yüzey.	Oluk harmonikleri ve PWM bu yüzeyde doğrudan yüzey girdapları üretir. B yüzünde aynı alüminyum 2 mm FR4'ün arkasında; girdap orada da oluşur, bir miktar zayıflar.
4	Mıknatıslar tek parça ve yamuk; kutup adımını kaplama oranı gözle ~%55–65 (tipik %70–85).	Daha az akı → daha düşük tork sabiti → aynı tork için daha fazla akım: akımla artan kayba katkı olabilir. CAD'den teyit edilmeli.
5	Ağlardaki bağlantılar FR4 plakaları tutan perçinler (paslanmaz görünüyor); A yüzünde başlar gömülü. Göbekte A2-70 vidalar.	Manyetik değilse ısınmada önemli rol beklenmez; perçin malzemesi teyit edilmeli.
6	Dış bilezik kesintisiz ve dar (gözle ~5 mm).	Mıknatısları merkezkaç karşı tutan eleman; kesik veya FR4 çözümünde mekanik rolü korunmalı (Bölüm F).

HIZLI DOĞRULAMA

Yüksüz koşudan hemen sonra disk üzerindeki sıcaklık dağılımını IR termometre veya termal etiketle ölçün: Al ağlar ve bilezik, mıknatıs yüzeyi, göbek. En sıcak bölgeler mıknatısları çevreleyen alüminyumsa ana bulgu doğrudan kanıtlanmış olur (T2).

Bu raporda **girdap akımı** olarak geçen akımlar İngilizce literatürde **eddy current**, Fransızca kaynaklarda **Foucault akımı** olarak adlandırılır; üçü aynı olgudur. Bir iletkeninden geçen manyetik akı değiştiğinde iletkeninde gerilim indüklenir (Faraday yasası). İletken katı bir parça olduğu için bu gerilim, malzemenin içinde kendi üzerine kapanan dairesel akımlar sürer. Akım, kendisini doğuran değişime karşı koyacak yönde akar (Lenz yasası) ve iletkenin direncinde ısıya dönüşür: ısı, akımın aktığı parçanın kendisinde — burada rotor diskinde — oluşur.

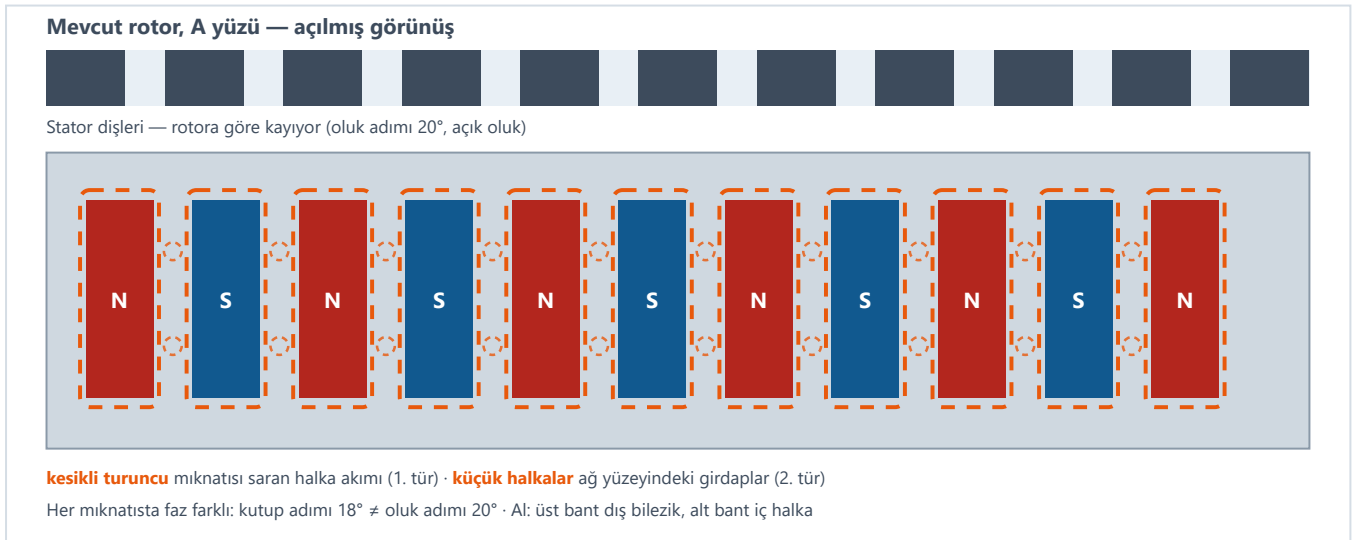


Şekil 2 — Bobindeki alternatif akım değişen bir manyetik alan üretir (mavi); alan metal levhadan geçerken levhanın içinde dairesel girdap akımları (turuncu) dolaşır. Bizim motorda bobinin yerini oluk ağızlarının önünden geçen mıknatıs, levhanın yerini alüminyum disk alır. Akım, akının en hızlı değiştiği anda en büyüktür ve akı azalmaya başlayınca yön değiştirir; sağdaki grafik bu ilişkiyi gösterir. HTML sürümünde hareketlidir.

Bu Motorda Üç Ölçekte Girdap Akımı

TÜR	NEREDE AKIYOR	NEYLE BESLENİR	TAHMİNİ KAYIP*	BÖLÜM
1 · Halka akımı (büyük ölçekli girdap)	Her mıknatısı saran Al: dış bilezik + iki ağ (13 mm) + iç halka	Mıknatıs akısının oluk geçişlerinde dalgalanması (1000 rpm'de 300 Hz), PWM, yük altı harmonikler	20–180 W	N-1
2 · Yüzey girdapları	Al ağıların statorlara bakan yüzleri (A'da doğrudan, B'de 2 mm FR4'ün altında)	Oluk harmonikleri ve PWM alanı, doğrudan	100–450 W	B2
3 · Mıknatıs içi girdaplar	Tek parça NdFeB blokların içi	Aynı harmonikler	40–150 W	N-2
Toplam tahmin — ölçülen fazla yüksüz kayıp 1000 rpm'de ≈ 580–730 W (Bölüm D)			160–780 W	

* 1000 rpm, yüksüz, mertebe hesabı (FEA değil). 1. tür: Bölüm F · Sık Sorulanlar. 2. tür: Al yüzey ≈ 0,02 m², harmonik alan 0,05–0,1 T (çok kaba). 3. tür: mıknatıs içi alan dalgalanması 0,05–0,1 T, 20 × 12 cm³. Yük altında üçü de büyür.



Şekil 3 — Mevcut rotorun A yüzü (ölçeksiz). Stator dişleri rotora göre kayarken her mıknatısın akısı dalgalanır ve çevresindeki alüminyum halkada akım ileri-geri döner. Mıknatıs payı fotoğraftaki gibi ~%63 çizilmiştir. HTML sürümünde hareketlidir.

Üç girdap akımı türü, kayba ve verime etkisine göre sıralandı. Sayılar merteye tahminidir (FEA değil) ve sıralama yüke göre değişir: boşta küçük, kısa dalga boylu oluk harmonikleri baskındır; yük arttıkça stator akımının uzun dalga boylu harmonikleri öne çıkar.

SIRA	BOŞTA (0 NM)	SEYİR (~67 NM)	TAM TORK (150 NM)
1	Al ağ yüzey girdapları (metal içi) · 100–450 W	Halka akımı ≈ yüzey girdapları	Halka akımı (yüzük çevresi) · ~1–2,5 kW
2	Halka akımı · 20–180 W	—	Al ağ yüzey girdapları · ~0,15–0,65 kW
3	Mıknatıs içi · 40–150 W (halka ile aynı mertebe)	Mıknatıs içi	Mıknatıs içi · ~0,15–0,55 kW

Boştaki değerler 1000 rpm'de. Yük altı değerleri, dinamometrede ölçülen ~2,7 kW'lık yük × devir kaybının (Bölüm D) halkaya, mıknatısa ve yüzeyle paylaşılmasıyla kabaca tahmin edildi; bu kaybın bir kısmı sargı AC kaybı da olabilir. Sürücü PWM'inden gelen pay (boşta sürücüyle döndürüldüğünde) ayrıca vardır ve bilinmiyor.

Verime Tahmini Etkisi

O TÜR TAMAMEN GİDERİLİRSE	SEYİR · 1000 RPM, 67 NM BUGÜN ≈ %77	TAM TORK · 1000 RPM, 150 NM BUGÜN ≈ %70	HANGİ DÜZELTME
Halka akımı (yüzük çevresi)	+2–5 puan	+3–8 puan	R2 — bileziğe kesik: tamamen giderir
Al ağ yüzey girdapları (metal içi)	+1–4 puan	+0,5–2 puan	R1 — iki yüzde 2 mm FR4: ~%20–40'ını giderir; tamamı için tam FR4 ağ (ekte)
Mıknatıs içi	+0,5–2 puan	+0,5–1,5 puan	R3 — segmentli mıknatıs: büyük kısmını giderir
Üçü birlikte	+5–12 → %82–89	+4–11 → %74–81	Toplam, ölçülen kayıplarla sınırlı

Aralıklar tek tek verildi; üst sınırlar aynı anda gerçekleşemez. Hesap: $\Delta\eta = P_{mil} / (P_{mil} + \text{kayıp} - \Delta P)$ – bugünkü verim; seyirde kayıp ≈ 2,1 kW, tam torkta 6,9 kW. Seyirde her 100 W ≈ 0,9 puan, tam torkta ≈ 0,3 puan eder.

NEDEN YÜK ALTINDA HALKA ÖNE GEÇİYOR?

Boşta akıyı dalgalandıran oluk ağızlarıdır; dalga boyları kısadır (~47 mm) ve en çok alüminyum yüzeyinde yerel girdaplar üretir. Yük altında 18/20 sargının 8. mertebe harmoniği devreye girer: dalga boyu ~105 mm, yani bir mıknatıstan çok daha geniştir ve her mıknatısın akısını bütünüyle dalgalandırır. Bütün akıyı çevreleyen tek yol mıknatısı saran halkadır; bu yüzden yük arttıkça en çok halka beslenir.

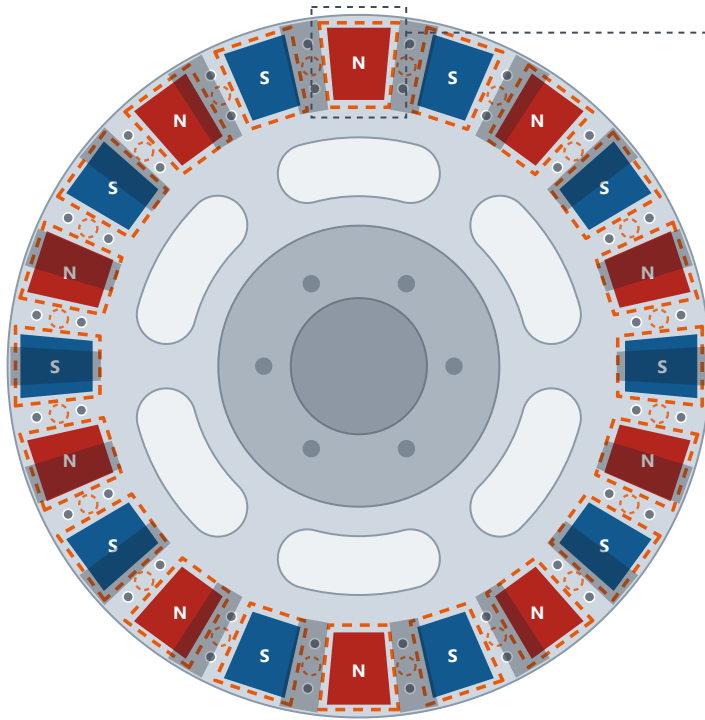
SIRALAMAYI ÖLÇEREK KESİNLEŞTİRMEK

- Önce **R2** (kesik) → boştaki DC güç ve dinamometre: düşüş = halka payı.
- Sonra **R1** (A yüzü 2 mm FR4) → aynı ölçümler: düşüş = yüzey payının giderilen kısmı.
- Son olarak **R3** (segmentli mıknatıs) → kalan düşüş = mıknatıs payı.

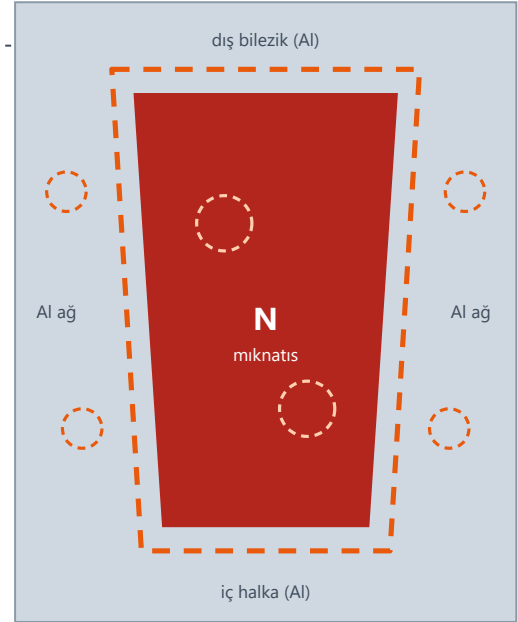
Kalıcı paket adım adım uygulanırsa her adımın kazancı ayrı ayrı ölçülmüş olur.

Aşağıdaki çizim fotoğraflardaki A yüzünü ölçekli olarak yeniden üretir: Ø310 mm alüminyum disk, 20 yamuk mıknatıs (kutup adımının ~%60'ı), aralarında perçinli alüminyum ağlar, dar dış bilezik, altı ağırlık boşluğu ve çelik göbek. Üzerindeki yarı saydam koyu dilimler statorun 18 açık oluk ağzıdır; rotora göre döndükleri için her mıknatısın önünden sırayla geçerler.

A yüzü — ölçekli (Ø310 mm)



Bir mıknatıs penceresi — yakın görünüş



kesikli turuncu halka akımı (1. tür) · **küçük halkalar** Al ağ yüzeyindeki girdaplar (2. tür) · **açık turuncu** mıknatıs içi girdaplar (3. tür)

Yarı saydam koyu dilimler: statorun 18 açık oluk ağzı, rotora göre dönüyor · mıknatıs payı ~%60 · ölçüler fotoğraf ve resimden yaklaşık

Şekil 4 — Sol: oluk ağzları mıknatısların önünden geçtikçe her mıknatısı saran alüminyumda halka akımı ileri-geri döner; komşu mıknatıslarda yön zıttır ve faz her mıknatısta biraz kayar (kutup adımı 18°, oluk adımı 20°). Sağ: tek bir mıknatıs penceresinde üç tür girdap akımı birlikte. Animasyon görünür olsun diye yavaşlatılmıştır. HTML sürümünde hareketlidir.

ANİMASYONDA NE GÖRÜYORSUNUZ

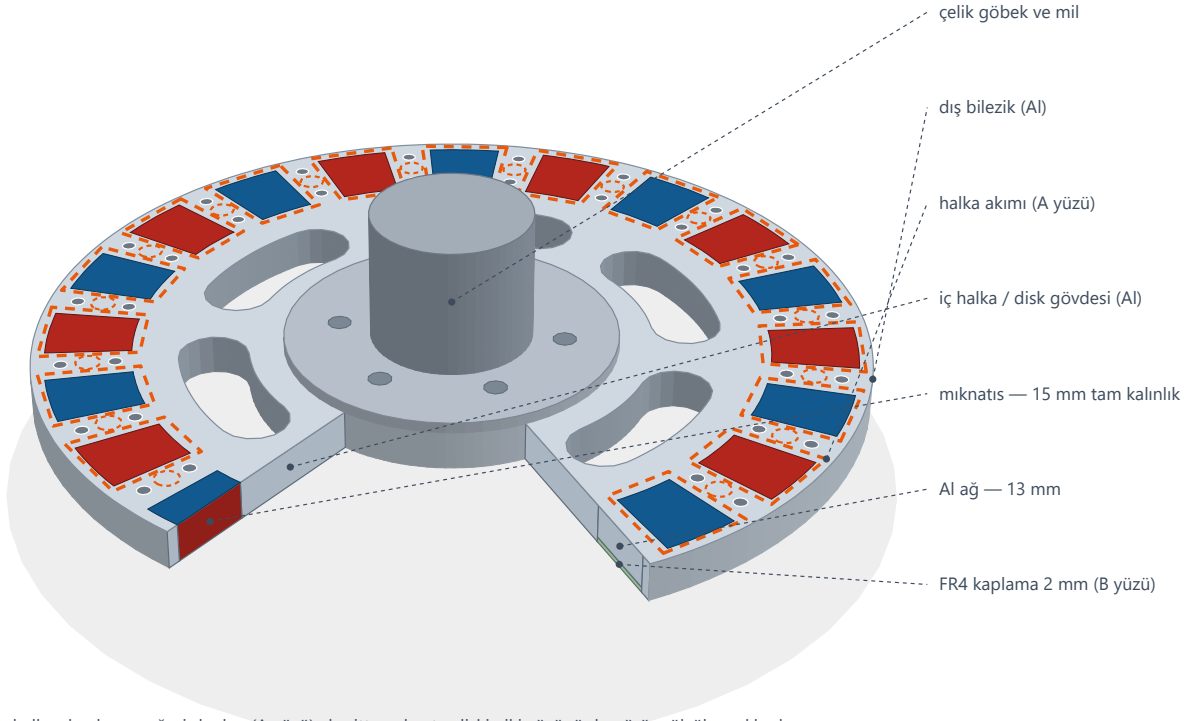
- **Halka akımı (1. tür):** dış bilezik → Al ağ → iç halka → Al ağ yolunu izleyerek mıknatısı çevreler. 20 mıknatısın her birinde ayrı bir halka var; kaybın ana kaynağı budur.
- **Gerçek hız:** her mıknatıs devir başına 18 oluk ağzıyla karşılaşır — 1000 rpm'de 300 Hz, 1500 rpm'de 450 Hz. Akım saniyede yüzlerce kez yön değiştirir.
- **Yüzey girdapları (2. tür):** Al ağların statorlara bakan yüzlerinde, oluk ağzı geçerken oluşur. B yüzündeki 2 mm FR4 kaplama alüminyumu statordan biraz uzaklaştırır ama girdabı önlemez.
- **Mıknatıs içi girdaplar (3. tür):** tek parça bloğun içinde döner; segmentli mıknatıs bu döngüleri böler.

ISI NEREYE GİDİYOR?

Bu akımların tamamı rotorda ısı üretir. Disk iki statorun arasında yalnız 1,5–2,5 mm'lik hava aralıkları ve mil üzerinden soğuyabilir; sıvı soğutma ise statoru soğutur. Bu yüzden rotor yüksüzde bile 60–100 °C'ye çıkıyor.

Aynı disk perspektiften: üstte bir dilimi çıkarılmış kesit, altta iki stator arasındaki yeri. Kesit, mıknatısın 15 mm'lik diskin tam kalınlığını geçtiğini ve mıknatıs aralarının neredeyse tamamen alüminyum olduğunu gösterir: 13 mm alüminyum ağın üstünde B yüzünde yalnız 2 mm FR4 kaplama var. Halka akımı bu alüminyumda akar.

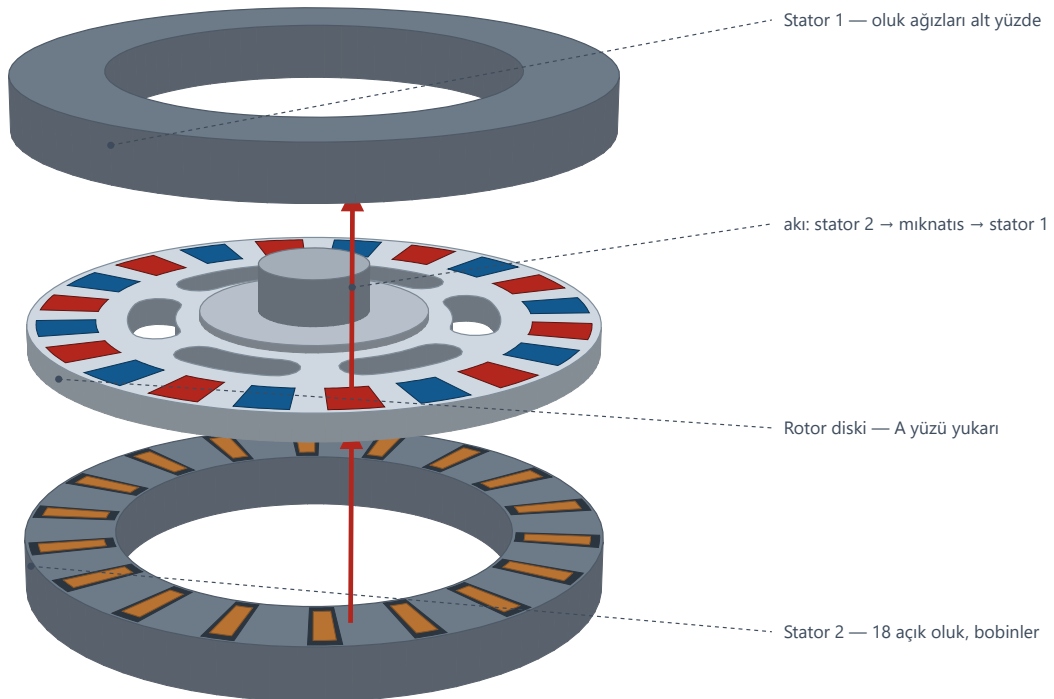
Kesit görünüşü — A yüzü yukarıda, bir dilim çıkarılmış



turuncu halka akımları ve ağ girdapları (A yüzü) · kesitte mıknatıs diskin iki yüzünü de görür · ölçüler yaklaşık

Şekil 5 — Kesit görünüşü. Ağ kesitinde 13 mm alüminyum ve B yüzünde 2 mm FR4 kaplama görünür. A yüzündeki turuncu halkalar ve küçük girdaplar HTML sürümünde hareketlidir.

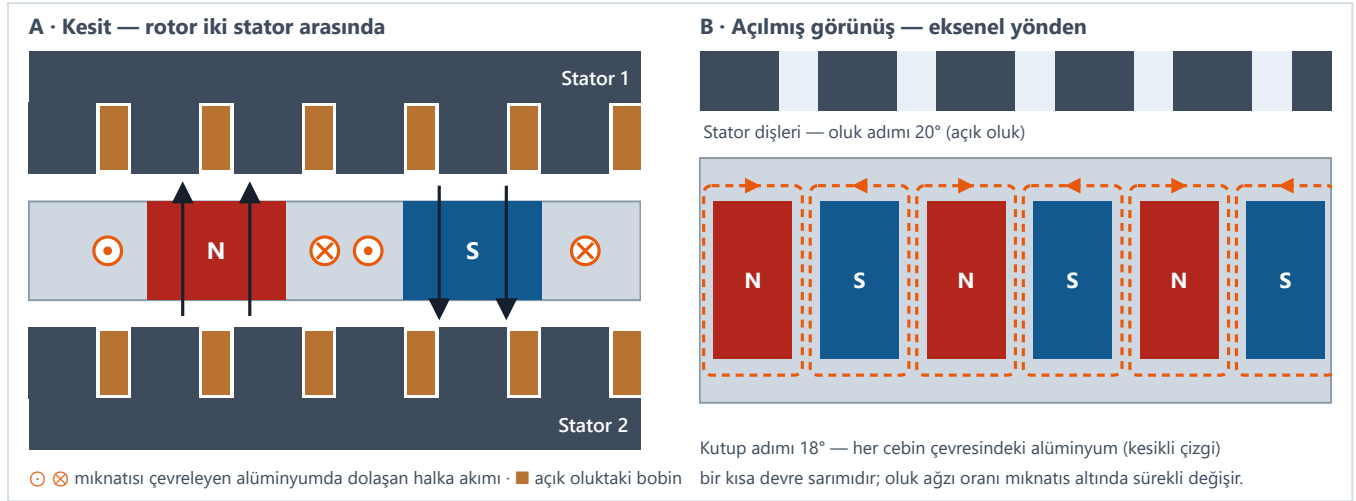
Patlatılmış görünüş — iki stator arasında tek disk



Aralıklar anlaşılır olsun diye açıldı; gerçekte her iki hava aralığı 1,5–2,5 mm · ölçüler yaklaşık

Şekil 6 — Patlatılmış görünüş. Stator 2'nin oluk ağzları ve bobinleri rotora bakar; stator 1'inkiler alt yüzündedir. Bir N mıknatısından geçen akı (kırmızı ok) stator 2'den mıknatısı eksenel geçerek stator 1'e ulaşır — mıknatısı saran alüminyum bu akıyı çevreleyen halkadır.

Çift stator – tek rotor yapısında mıknatıs akısı diski aksel olarak bir statordan diğerine geçer (NS düzeni). Mıknatısı saran alüminyum, bu akıyı çevreleyen **tek sarımlı, kısa devre edilmiş bir bobindir**. Akı sabit kaldıkça halkada akım akmaz. Ancak mıknatısın gördüğü manyetik direnç her oluk ağzında değişir; akı dalgalanır ve halkada dolaşım akımı indüklenir.



Şekil 7 — Mekanizmanın şematik gösterimi (ölçeksiz). A: kesitte mıknatıs akısı diski aksel olarak bir statordan diğerine geçer; mıknatısın iki yanındaki alüminyumda zıt yönlü akım, mıknatısı saran bir halka oluşturur. B: oluk adımı (20°) ile kutup adımının (18°) farklı olması, her mıknatısın altındaki oluk ağzı oranını sürekli değiştirir.

```
// Frekanslar — n = 1500 rpm = 25 dev/s
Elektriksel temel frekans   f_e = p · n = 10 × 25 = 250 Hz
Oluk geçiş frekansı        f_s = Q · n = 18 × 25 = 450 Hz ← rotorun gördüğü ana harmonik
Kutup adımı 360°/20 = 18° < oluk adımı 360°/18 = 20°
→ mıknatıs hiçbir anda tam bir oluk adımını örtmez; altındaki oluk ağzı oranı sürekli değişir

// Nüfuz derinliği δ = √( ρ / ( π · f · μ₀ ) )
Al 7075   ( ρ ≈ 5,2·10⁻⁸ Ω·m )   450 Hz → δ ≈ 5,4 mm   16 kHz → δ ≈ 0,9 mm
NdFeB     ( ρ ≈ 1,5·10⁻⁶ Ω·m )   450 Hz → δ ≈ 29 mm   16 kHz → δ ≈ 4,9 mm
→ 15 mm'lik diskte 450 Hz akımı her iki yüzeyden ~5 mm derine iner, kesitin çoğu kullanılır; mıknatısta tüm kesite yayılır
```

MALZEMEYİ YALNIZCA PASLANMAZA ÇEVİRMEK NEDEN YETMEYEBİLİR?

Halka kaybı yaklaşık $P \approx E^2 \cdot R / (2 \cdot (R^2 + (\omega L)^2))$ ile verilir ve halka direnci R, endüktif reaktansa (ωL) eşit olduğunda **en büyük değerini** alır. Alüminyumda R küçük olduğundan halka kısmen endüktans sınırlı çalışır; direnci 10–15 kat artırmak (paslanmaz çelik) kaybı aynı mertebede bırakabilir. Güvenilir çözümler **halkayı açmak** (yarık) ya da aktif bölgede **iletken olmayan** malzeme kullanmaktır. Kesin karar 3B FEA ile verilmelidir.

Mıknatıs ve Oluk Etkileri

N-2

Tek Parça NdFeB Mıknatıslarda Girdap Akımı

NdFeB iletkenidir ($\rho \approx 1,5 \mu\Omega\cdot m$). 450 Hz'de nüfuz derinliği (~29 mm) mıknatıs boyutundan büyük olduğundan kayıp **direnç sınırlıdır** ve akım yolunun genişliğiyle hızla büyür. Mıknatısı çevresel ve/veya radyal olarak 4–8 yalıtımlı parçaya bölmek bu kaybı kabaca segment sayısının karesiyle azaltır. Mıknatıs ile alüminyum cep arasındaki temas da yalıtılmalıdır.

N-3

Açık Oluk — Harmoniklerin Kaynağı

Oluk ağzı genişliği / hava aralığı oranı büyüdükçe mıknatısın gördüğü akı dalgalanması artar. Açık oluk, hazır bobinin takılmasını kolaylaştırır; ancak N-1 ve N-2'nin ana besleyicisidir. Seçenekler: **manyetik oluk kaması** (SMC veya demir tozlu epoksi) ya da **yarı kapalı oluk**. Etkiyi sayısallaştırmak için oluk ağzı ölçüsü gerekir.

ÇARPAN: ROTORUN ISI ATIM YOLU

Sıvı soğutma gövdeyi ve statoru soğutur. Rotor ise yalnızca $2 \times 1,5\text{--}2,5$ mm hava aralığı ve mil–rulman zinciri üzerinden ısı atar. Bu bir kayıp **kaynağı değil, çarpandır**: aynı kayıp statorda üretilseydi soğutma devresi kolayca taşırdı.

Doğrudan "alüminyum mıknatıs taşıyıcı diske kesik" konulu yayımlanmış bir çalışma bulunamadı. Aynı ilke — hava aralığındaki iletken parçada kapalı akım yolunu kesmek, iletken olmayan malzeme kullanmak, mıknatısı bölmek — rotor kılıflarında, YASA motorların gövde ve braketlerinde ve eksenel akı rotor tasarımında kullanılıyor ve ölçümle doğrulanmış.

KONU	BULGU	BİZİM MOTOR İÇİN
Eksenel akı rotoru [1][2]	Kompozit gövdeli rotor ve mıknatıs üstü lamine katman rotor girdap kaybını azaltır; rotor segmentasyonu ve disk malzemesi kaybı belirgin düşürür, imalat maliyetiyle ödünleşim vardır.	Disk malzemesi ve bölme en etkili kollar — kalıcı paket ve alternatif.
Açık oluk [3]	YASA'da açık oluk yapısı yüksek mıknatıs girdap kaybına yol açar; çarpıklık, segmentasyon veya SMC katman tek başına yeterli olmadı.	N-3 ile aynı tablo; oluk kaması (R4) yönünü destekler.
Kapalı alüminyum yollar [4][5][6]	YASA alüminyum gövdesinde segmentleri saran kısa devre yollarından kaçınılmalı; braket girdap yolunu uzatınca kayıp belirgin arttı; AFPM gövdesinde de kayıp oluşur.	Bizim halka ile aynı fizik: bir akı bölgesini saran kapalı Al yol.
İletkeni kesmek / yalıtımlık [7][8][9][10]	Helisel kılıf akım yolunu keserek kaybı belirgin düşürür; çevresel yalıtımlı geçirgen kılıf açık devrede rotor kaybını %64,2 azaltır; kompozit kılıf metal kılıfa göre ~330 W az kayıp (60 kW, 10 krpm); segmentli kılıf patentlerde var.	Kesik (R2) ve FR4 plaka (R1) ilkesi ölçümle doğrulanmış.
Mıknatıs segmentasyonu [11][12]	Bölme, parça boyutu nüfuz derinliğinden küçükse etkili; nüfuz etkisi varken bölmek kaybı artırabilir; bazı PWM frekansı-parça sayısı kombinasyonlarında bölünmüş mıknatıs daha çok kayıp verdi.	R3: parça sayısı FEA ile seçilmeli (16 kHz'de NdFeB'de $\delta \approx 5$ mm).
Sargı harmonikleri [13] [14]	Kesirli oluklu sargıda alt harmonikler mıknatıs kaybına hakim olabilir; 20 oluk / 18 kutupta asenkron armatür harmonikleri rotor ve mıknatıs kaybını artırır, düşük mertebeli harmonikler iptal edilerek azaltılır.	Bizim 18/20'deki 8. mertebe — yük altı kaybı.
Patentler [15]	Eksenel akı rotorunda iletken olmayan (polimer) mıknatıs tutucu önerilir; seramik tekerlek girdap kaybını azaltır ama mukavemetten verir.	Alternatif (kompozit taşıyıcı) — ekte.
Yank geometrisi [16]	Yank derinliği, genişliği ve sayısı optimize edilir; merkezkaç gerilmesi birlikte kontrol edilir (SynRM rotoru).	Kesik boyutlandırması ve gerilme kontrolü yöntemi.

SONUÇ

Literatür önerilen yolu destekliyor: hava aralığındaki iletken parçada kapalı yol bırakılmamalı (kesik), mümkün olan yüzeyler yalıtımla örtülmeli (FR4), mıknatıslar bölünmeli — ama parça sayısı FEA ile seçilmeli. Kesğin bizim diskteki etkisini sayısal olarak en ucuz gösterecek olan yine kesik öncesi / sonrası boştaki DC güç ölçümüdür.

KAYNAKLAR (WEB TARAMASI, 27.10.2026; TAM METİNLER İNCELENMEDİ, BULGULAR ÖZETLERDEN)

1. Rotor Eddy-Current Losses Reduction in an Axial Flux Permanent-Magnet Machine, IEEE Trans. Ind. Electron., 2016 — [doi.org](#)
2. IFPEN — 18 oluk / 12 kutup AFPM, rotor segmentasyonu ve disk malzemesi, STET, 2026 — [www.stet-review.org](#)
3. Li vd. — amorf metal YASA tekerlek-içi motor, açık oluk ve mıknatıs girdap kaybı, IJAEM — [content.iospress.com](#)
4. Kastevitch — YASA alüminyum stator gövdesinde girdap kaybı modellemesi, BSUIR — [libelidoc.bsuir.by](#)
5. Design and Loss Analysis of a YASA AFPM Motor Employing a Crimping-Type Bracket — [trid.trb.org](#)
6. Losses in the axial-flux permanent-magnet machine housing, COMPEL, 2013 — [www.emerald.com](#)
7. Helical retaining sleeve for eddy current loss reduction in high-speed SPM machine (Huddersfield) — [pure.hud.ac.uk](#)
8. Rotor eddy current loss reduction with permeable retaining sleeve for PMSM (TU Delft) — [pure.tudelft.nl](#)
9. Study of eddy current loss in the ... sleeve — kompozit / metal kılıf karşılaştırması (Montpellier) — [esploro.umontpellier.fr](#)
10. Fault-tolerant synchronous PM machine — segmentli kılıf (GE patent başvurusu) — [patents.justia.com](#)
11. Optimization of Magnet Segmentation for Reduction of Eddy-Current Losses (HAL / IEEE TEC, 2010) — [hal-supelec.archives-ouvertes.fr](#)
12. VUT Brno — mıknatıs segmentasyonu ve PWM frekansı — [www.vut.cz](#)
13. Air gap MMF based prediction of eddy current loss in the PMs of concentrated winding machines, COMPEL — [www.emerald.com](#)
14. Low space harmonics cancelation in double-layer fractional slot winding (20 oluk / 18 kutup), IEEE TMag, 2015 — [gspace.gu.edu.qa](#)
15. US12362614B2 — Rotor for an axial flux motor (iletken olmayan mıknatıs tutucu) — [patents.google.com](#)
16. Effect of Axial Slits on High-Speed Axially Laminated Rotor of SynRM (Aalto) — [aalto.doc.aalto.fi](#)

0,88 kWYÜKSÜZ KAYIP @ 1000 RPM ·
DC 9,4 A**1,53 kW**YÜKSÜZ KAYIP @ 1500 RPM ·
DC 16 A**n^{1,4}**

KAYBIN DEVİRLE ARTIŞ ÜSSÜ

≤ 0,45 kWSAĞLIKLI MOTORDA
BEKLENEN @ 1500 RPM

Yüksüz çalışmada bakır kaybı birkaç watt'tır; DC baradan çekilen güç doğrudan demir, rotor girdap, sürtünme ve sürücü kayıplarını verir. Bu ölçüm rotor hipotezini dinamometreden bağımsız olarak doğrular. Fazla kaybın büyük kısmı rotorda açığa çıkıyorsa, gözlenen 60–100 °C rotor sıcaklığıyla da uyumludur.

```
// DC bara ölçümü – yüksüz, sürücüyle döndürme (V_dc ≈ 99 V varsayıldı; sürücü bekleme ≈ 54 W, 26.10 CSV)
1000 rpm: 99 V × 9,4 A ≈ 0,93 kW – 0,05 ≈ 0,88 kW
1500 rpm: 99 V × 16 A ≈ 1,58 kW – 0,05 ≈ 1,53 kW

Kayıp oranı 1,53 / 0,88 ≈ 1,74 · devir oranı 1,5 → P ∝ n1,37

// Sağlıklı motorda beklenen (stator demir + rulman + hava sürtünmesi + sürücü)
1000 rpm ≈ 0,15–0,30 kW · 1500 rpm ≈ 0,25–0,45 kW → ölçülen ~3–6 kat

Anma devrinde, sıfır torkta bile kayıp ≈ 20 kW'ın %7,5'i – kısmi yükte (seyir) verimi bu terim belirler
```

ÜS NEDEN 2 DEĞİL?

Klasik ayırmada histerezis kaybı devirle doğrusal, girdap kaybı karesel artar. Ölçülen üs ~1,4; bu, girdap akımı olmadığını değil, akımın **kalin bir iletken**de aktığını gösterir: 7075'te nüfuz derinliği 1000 rpm'de ~6,6 mm, 1500 rpm'de ~5,4 mm, disk 15 mm (ağlarda alüminyum 13 mm). Halka endüktans sınırına yaklaştıkça ve akım yüzeye sıkıştıkça kayıp n²'den yavaş artar. Bu yüzden a·n + b·n² ayırımı burada yanıltıcıdır; asıl ayırım T1 (uçlar açık) ve kesik öncesi/sonrası karşılaştırmasıyla yapılmalıdır.

1000 rpm / 150 Nm Kaybının Üç Parçası

Toplam 6,87 kW	= yüksüz kayıp (akı + sürtünme + sürücü)	0,88 kW	← bu ölçüm
	+ akımla artan, devirden bağımsız (bakır, sürücü)	≈ 3,3 kW	← duruşa yakın nokta (D2)
	+ yük × devir etkileşimi	≈ 2,7 kW	← kalan

Üçüncü parça yalnız hem akım hem devir varken ortaya çıkar: stator MMF harmoniklerinin (18/20'de 8. mertebe) rotordaki alüminyum halkalarda ve mıknatıslarda indüklediği girdap akımları ile açık oluk ağzına yakın iletkenlerdeki sargı AC kayıpları. İlki rotor düzeltmesiyle gider, ikincisi gitmez. Bölüm F'deki ~%81 üst sınır bu parçanın tamamını rotor kaynaklı varsayar.

YÜK ALTI PROJEKSİYON

- **Pozitif geri besleme:** NdFeB remanansı ≈ –0,11 %/K; 20 °C'den 100 °C'ye ~%9 akı kaybı → aynı tork için ~%10 fazla akım → hem bakır hem rotor kaybı artar.
- **Sonuç:** 150 Nm sürekli yükte rotor sıcaklığının SH sınıfının **150 °C** sınırını aşma riski yüksektir. Rotor sıcaklığı izlenmeden uzun süreli anma yükü testi yapılmamalıdır.

%78–83ORTA YÜKTE ÖLÇÜLEN
VERİM · DİĞER TESTLER**6,9 kW**TOPLAM KAYIP · MAKS. TORK
NOKTASI 1005 RPM / 150
NM**~3,6 kW**DEVİRLE ARTAN KAYIP ·
ROTOR / DEMİR TARAFI**~3,3 kW**AKIMLA ARTAN KAYIP ·
SARGI / SÜRÜCÜ TARAFI

Test cmatortech_2026-10-26T07-08-55-9872.csv (801 örnek, 237 s): ~25 s içinde 0 → 1000 rpm, ~120 → 150 Nm. Giriş DC baradan, çıkış tork sensöründen; AC kanalları kayıtsız olduğundan sonuçlar **sürücü + motor** toplamıdır. Değerler filtrelili sütunlardan değil, ham Vdc · Idc ve T · ω'dan hesaplanmıştır.

Ölçüm notu: test yazılımının özet ekranındaki tepe verim, filtre nedeniyle geçiş anlarında olduğundan yüksek görünür; bu sayfadaki değerler ham verilerden hesaplandı (ayrıntı ekte).

Kayıp – Devir (anlık değerler)

DEVİR (RPM)	TORK (NM)	P _{DC} (KW)	P _{MİL} (KW)	KAYIP (KW)	VERİM	NOT
39	116	2,44	0,47	1,97	–	Neredeyse duruşta: yalnız akımla artan kayıp
248	120	6,10	3,11	2,99	%51	~120 Nm'de hızlanma; ivme kaynaklı hata < 0,3 kW
427	116	8,68	5,17	3,51	%60	
588	119	11,13	7,33	3,80	%66	
808	122	15,28	10,32	4,96	%68	
1005	150	22,67	15,80	6,87	%69,7	45–48 s kararlı ortalama

```
// Akımla artan kayıp – bakır + sürücü iletim/anahtarlama + PWM dalgalılığı
39 rpm, 116 Nm → kayıp ≈ 1,97 kW (bu devirde demir / rotor kaybı ihmal edilebilir)
150 Nm'ye ölçek (I ∝ T kabulü): 1,97 × (150/116)² ≈ 3,3 kW ← alt sınır; doyma varsa daha fazla
// Devirle artan kayıp – demir + rotor girdap + sargı AC kaybı + sürtünme (yük altında)
~120 Nm'de 0 → 800 rpm: +3,0 kW (≈ 3,7 W/rpm)
1005 rpm, 150 Nm: 6,87 – 3,3 ≈ 3,6 kW sağlıklı motorda bu devirde birkaç yüz W beklenir
```

DEVİRLE ARTAN ~3,6 kW → ROTOR TARAFI

Beklenenin yaklaşık 10 katı; Al halka ve mıknatıs girdap akımı hipoteziyle (N-1...N-3) uyumlu. Yüksüz ölçümle ayrıldı: ~0,9 kW yüksüz kayıp + ~2,7 kW yalnız yük altında beliren yük × devir kaybı (Bölüm D).

AKIMLA ARTAN ~3,3 kW → SARGI / SÜRÜCÜ TARAFI

%90'ın üzerinde bir verim hedefi için bu noktadaki toplam kayıp bütçesi ~1,7 kW. Olası nedenler: yüksek faz direnci (iletken kesiti, doluluk, sargı başı), düşük tork sabiti, sürücü kayıpları, PWM dalgalılığı. Ayırmak için faz direnci (T9) ve AC tarafı güç ölçümü (T10) gerekir.

SONUÇ VE PROJEKSİYON

- Kaybın **iki bağımsız, neredeyse eşit büyüklükte** kaynağı var. Rotor revizyonu tek başına maksimum torktaki verimi ~%80'e taşıyabilir; %90 üstü için sargı/akım tarafının da çözülmesi gerekir.
- Orta yükte %78–83, maksimum torkta ~%70 olması tutarlı: akımla artan kayıplar torkun karesiyle büyür. Devirle artan kaybın da önemli ölçüde **yükle büyüdüğüne** (Al halkalardaki yük altı harmonikler) işaret eder.
- Test yüklü olarak yalnız ~25 s sürdü, T1–T6 en fazla ~2 °C arttı: termal sonuç için yetersiz. Bu noktada sürekli çalışmada ~7 kW ısı çıkar ve rotordaki pay soğutma devresine ulaşamaz.

Testler en ucuzdan en pahalıya sıralanmıştır. T1 ve T2 tek başına ana hipotezi (N-1) doğrulamaya ya da çürütmeye yeter; diğerleri katkı yapan nedenleri ayrıştırır.

KOD	TEST	NEYİ AYIRT EDER?	YORUM	MALİYET
T1	Uçlar açık, dışarıdan tahrikli yüksüz koşu — sürücülü testle aynı devir ve süre	Kaynak manyetik mi (oluk), sürücü mü (PWM / akım)?	Rotor yine aynı ölçüde ısıniyorsa N-1...N-3 doğrulanır . Isınma belirgin azalıyorsa N-4 (PWM) ağırlıktadır.	DÜŞÜK
T2	Geri dönüşsüz termal etiket (40–150 °C): Al ağırlar, mıknatıs yüzeyi, göbek, dış çevre; A ↔ B yüzü karşılaştırması	Sıcak nokta nerede?	Mıknatısları çevreleyen Al ağırlar en sıcaksa halka akımı ; A yüzü B yüzünden sıcaksa yüzey girdaplarının payı görülür (B'de 2 mm FR4 var); göbek en sıcaksa rulman/mil kaynaklı.	ÇOK DÜŞÜK
T3	Yüksüz kayıp-devir eğrisi : 300 / 600 / 900 / 1200 / 1500 rpm'de DC giriş gücü veya tork ölçer	Kayıp türü	1000 ve 1500 rpm ölçüldü (0,88 / 1,53 kW, $P \propto n^{1,4}$). Ara noktalar eklenmeli; kalın iletken $a \cdot n + b \cdot n^2$ ayrımı yanıltıcı olduğundan asıl ayırım T1 ve kesik öncesi/sonrası ile yapılır.	DÜŞÜK
T9	Faz direnci ölçümü : 4 telli (Kelvin) mikro-ohmmetre, sargı sıcaklığı ile birlikte	Akımla artan kaybın ne kadarı bakır?	$P_{cu} = 3 \cdot I^2 \cdot R$. Bakır payı 3,3 kW'ın küçük kısmıysa sürücü veya PWM kaybı ağırlıktadır.	ÇOK DÜŞÜK
T10	AC tarafı güç ölçümü : motor uçlarında güç analizörü (test cihazının AC kanalları şu an sıfır kaydediyor)	Sürücü kaybı ile motor kaybı	Sürücü verimi gerçek değeriyle ölçülür; faz akımından tork sabiti (Kt) hesaplanır.	ORTA
T11	Verim haritası : sabit devirlerde (300 / 600 / 900 / 1200 / 1500 rpm) 0–150 Nm tork taraması; her nokta ≥ 10 s kararlı	Sabit ve değişken kayıpların ayrımı	Her devirde $kayıp = a(n) + b \cdot T^2$ uydurulur; verim yalnız kararlı noktalarda ve ham değerlerden hesaplanır.	ORTA

İkincil testler (T4–T8) ekte.

ÖLÇÜM KAYDI — HER TESTTE NOT EDİLECEKLER

- Devir, süre, ortam ve soğutma suyu giriş/çıkış sıcaklığı, debi.
- Rotor sıcaklığı: durduktan hemen sonra IR pirometre veya termal kamera (yüzey yayıcılığı için mat bant) + termal etiketler.
- Sürücü verisi: DC bara gerilimi ve akımı, faz akımı (rms ve tepe), I_d / I_q , PWM frekansı.
- Stator sargı sıcaklık sensörü değerleri (her iki stator ayrı ayrı varsa ikisi).

GÜVENLİK

Dışarıdan tahrikli testte (T1) faz uçları açıkken terminallerde devirle orantılı EMK oluşur; 1500 rpm'de onlarca volt mertebesinde. Uç izolasyonu yapılmalı, uçlar kesinlikle birbirine kısa devre edilmemelidir: kısa devre, frenleme torku ve sargıda yüksek akım üretir.

Seçenekler hedefledikleri nedene göre gruplanmıştır. Rotor tarafındaki R1–R3, ana mekanizmayı doğrudan ortadan kaldırır; stator ve sürücü tarafındaki seçenekler kaynağı zayıflatır.

KOD	SEÇENEK	HEDEF	BEKLENEN ETKİ	ZORLUK	NOT
R1	A yüzüne de 2 mm FR4 kilit plakası — A yüzü ağırları 2 mm frezelenir, perçinler iki plakayı birlikte sıkar	2. tür	Orta — ağ yüzey girdabı yüksüzde ~%40, yük altında ~%20 azalır (kaba)	DÜŞÜK	Mevcut imalat yöntemiyle yapılır; kalıcı paketin parçası (Şekil 9).
R2	Dış bileziğe her mıknatısın ekseninde tam kalınlık kesik (20 adet, tel erozyon ~0,3 mm, epoksi dolgu)	N-1	Yüksek — halka açılır; ağ yüzeyi girdapları kalır	DÜŞÜK	Mevcut diske uygulanabilir; bilezik yarıları mıknatısı tutmaya devam eder (kaba hesap ~34 MPa). FEA + gerekirse cam bandaj.
R3	Mıknatıs segmentasyonu (4–8 parça, yalıtımlı yapıştırma) + mıknatıs–cep arası yalıtım	N-2	Yüksek (mıknatıs kaybı)	DÜŞÜK	Tedarikçiden segmentli blok istenebilir; R1 veya R2 ile birlikte uygulanmalı.
R4	Manyetik oluk kaması veya yarı kapalı oluk	N-3, N-4	Orta–yüksek — tüm rotor kayıplarını düşürür	ORTA	Sargı ve montaj yöntemini etkiler; endüktansı da artırır, PWM dalgalılığını düşürür.
R10	Sargı / akım tarafı kayıplarının azaltılması: iletken kesiti, doluluk oranı, sargı başı uzunluğu, paralel yol sayısı	Akım kaybı	Yüksek — ~3,3 kW'lık ikinci kayıp grubu	T9 / T10'A BAĞLI	Faz direnci ve Kt ölçülmeden yön seçilemez; düşük Kt ise mıknatıs akısı ve hava aralığı da incelenir.

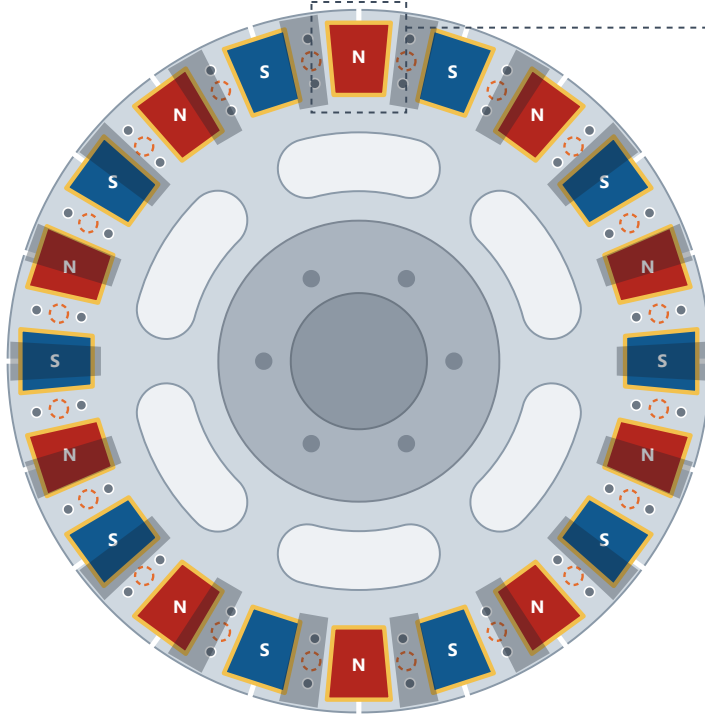
İkincil seçenekler (R5–R9) ekte.

ÖNERİLEN YOL

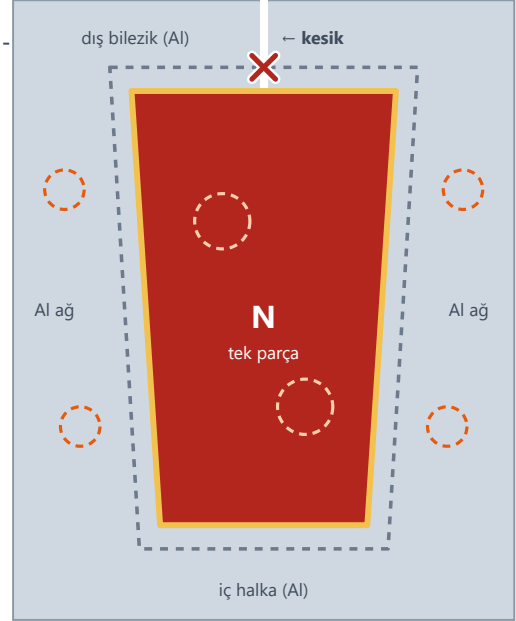
Kısa vadede mevcut diske R2 (bileziğe 20 kesik) + R3 (segmentli mıknatıs) uygulanıp T1–T3 ve dinamometre testleri tekrarlanmalı; bu, ana hipotezi en hızlı ve ucuz biçimde doğrular. **Kalıcı tasarımda** kalıcı paket (kesikler resme işlenir + R1 + R3) uygulanmalı; R4 kararı FEA ile verilmeli; geçme revizyonu (R7, ekte) her durumda uygulanmalıdır.

Mevcut diske tel erozyonla atılan 20 tam kalınlık kesik: her mıknatısın dış ucunun ortasından diskin dış kenarına kadar, 15 mm kalınlığın tamamı boyunca. Disk değişmez; yalnızca her mıknatısın etrafındaki alüminyum halka bir noktadan açılır.

Düzeltilme 1 — bileziğe 20 kesik (Ø310 mm)



Bir mıknatıs penceresi — kesikten sonra



beyaz çentik bileziğe tam kalınlık kesik · **sarı nabız** akı dalgalanması (sürer) · **gri kesikli** + X halka kesikte açılır

küçük halkalar ağ yüzeyi girdapları (kalır) · **açık turuncu** mıknatıs içi girdaplar (kalır → R3 ile çözülür)

Şekil 8 — Sol: kesikler (beyaz çentikler) 20 halkanın her birini açar; akı yine dalgalanır (sarı nabız) ama halka akımı dönmeyiz. Ağların yüzeyindeki girdaplar sürer. Sağ: eski halka yolu kesikte kopar (X); A yüzü ağ girdapları ve tek parça mıknatısın iç girdapları kalır. HTML sürümünde hareketlidir.

BEKLENEN SONUÇ

- **Ortadan kalkan:** 1. tür halka akımı — kaybın ana kaynağı.
- **Kalan:** 2. tür ağ yüzeyi girdapları ve 3. tür mıknatıs içi girdaplar; bu yüzden R3 ile birlikte önerilir.
- **Ölçümde görülmesi gereken:** aynı devirde yüksüz akım, yüksüz rotor sıcaklığı ve 1000 rpm / 150 Nm kaybı düşer; 1500 rpm'de yüksüz DC akım 16 A'den belirgin şekilde iner.
- **Ne kadar?** Halka akımının rotor kaybındaki payına bağlı. FEA'dan önce sayı vermek yanıltıcı olur; bu test o payı doğrudan ölçmenin en ucuz yoludur.

UYGULAMA NOTLARI

- Tel erozyon ~0,3 mm; dolgu epoksi/cam. Kesigi metal hiçbir şey köprülememeli.
- Kesik hattında perçin yok; FR4 kilit plakaları ve perçinler yerinde kalır.
- Bilezik yarıları mıknatısı T-parça olarak tutar (kaba hesap ~34 MPa, Bölüm F ayrıntı sayfası).
- Kesik sonrası balans ve görsel kontrol; ilk koşu düşük devirde, kademeli artırarak.
- Önce/sonra karşılaştırması için aynı test noktaları kullanılmalı.

HALKA NEDEN BU KADAR KAYIP YAPIYOR?

Mıknatısın etrafındaki alüminyum, mıknatısa sarılmış ve iki ucu kaynatılmış **tek sarımlı bir bobin** gibidir. İletken kesiti ağırlarda $\sim 10\text{--}15 \times 13 \text{ mm}$, bilezikte $5 \times 15 \text{ mm}$. 7075'in iletkenliği bakırın $\sim 33\%$ 'ü olduğundan ağ kesiti $\sim 50 \text{ mm}^2$ bakıra eşdeğerdir — kalın bir akü kablosu. Halka direnci $\sim 50 \mu\Omega$: birkaç yüz milivoltluk gerilim yüzlerce amper sürer. Diskte 20 ayrı sarım var; ürettikleri tek şey ısı ve dönüşe karşı fren torku.

KESİK HANGİ ALANI KESER?

İki alan karıştırılmamalı. **Halkanın çevrelediği alan** (mıknatıs yüzü): Lenz gerilimini bu alandan geçen akının değişimi indükler; kesik bunu değiştirmez. **Halkanın iletken kesiti** (bobin benzetmesindeki tel kalınlığı): kesik burayı tek bir noktada ve tamamen keser. En dar yer dış bilezik ($5 \times 15 \text{ mm}$); 0,3 mm tel erozyon yeter, ama 1 mm köprü kalsa bile halka kapanır. Kesikten sonra gerilim var, akım yok, ısı yok.

Halka Ne Kadar Kayıp Üretir?

```
// Mıknatıs başına, 1000 rpm, yüksüz – mertebe hesabı (FEA değil)
Mıknatıs yüzü  $\approx 32 \times 25 \text{ mm}$  (fotoğraftan),  $B \approx 0,8 \text{ T} \rightarrow \Phi \approx 0,64 \text{ mWb}$  · oluk geçişinde %5-15 dalgalanma  $\rightarrow \Delta\Phi \approx 0,03\text{--}0,10 \text{ mWb}$ 
Oluk frekansı  $18 \times 1000 / 60 = 300 \text{ Hz} \rightarrow E = 2\pi \cdot f \cdot \Delta\Phi \approx 0,06\text{--}0,18 \text{ V}$ 
 $R \approx 46 \mu\Omega$  (bilezik + ağırlar + iç halka) ·  $\omega L \approx 0,28 \text{ m}\Omega$  ( $L \approx 0,15 \mu\text{H}$ , tahmin)  $\rightarrow I \approx 200\text{--}630 \text{ A}$  tepe
 $P = I^2 \cdot R / 2 \approx 1\text{--}9 \text{ W}$  / mıknatıs  $\rightarrow 20$  mıknatısta  $\approx 20\text{--}180 \text{ W}$ 
// Ölçülen fazla yüksüz kayıp @ 1000 rpm  $\approx 0,6\text{--}0,7 \text{ kW}$  (Bölüm D)
```

Daha önceki konuşmada verilen 60–500 W, daha büyük bir mıknatıs yüzü ($30 \times 45 \text{ mm}$) varsayımına dayanıyordu. Fotoğraf ölçüleriyle halka, fazla yüksüz kaybın tamamını açıklamayabilir; ağ yüzey girdapları ve mıknatıs içi girdaplar da benzer mertebede olabilir. Bu yüzden kalıcı pakette üçü birlikte hedeflenir. Endüktans ve dalgalanma oranı tahmindir — gerçek değer birkaç kat farklı olabilir.

BOŞTAKİ ISINMAYI VE AKIMI DÜŞÜRÜR MÜ?

Boşta bakır kaybı yok; rotor ısının tamamı girdap kaynaklı. Girdaplar Lenz gereği fren torku üretir, sürücü bunu karşılamak için akım basar — bu yüzden ısınma ile boştaki akım aynı kaybın iki görünümüdür. Kesik halka payını kaldırır: rotorun ortamın **15–35 °C** üstüne inmesi makul bir beklenti; tamamen çözmek için kalıcı paket gerekir. En net ölçüt aynı devirde boştaki DC güç (bugün 0,88 kW @ 1000, 1,53 kW @ 1500 rpm).

VERİMİ KAÇ PUAN ETKİLER?

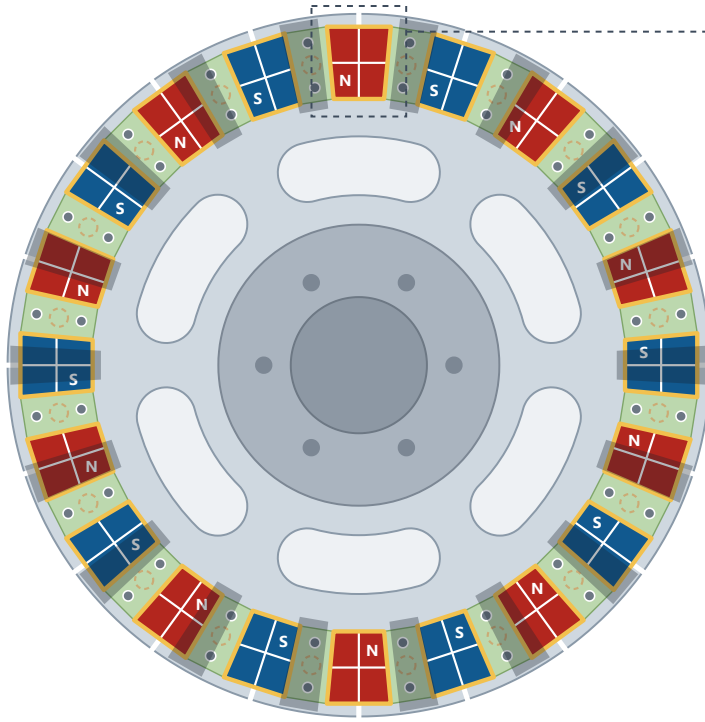
Yalnız kesikle orta yükte **+2–5 puan** (1–8 aralığı; %83 $\rightarrow$ $\sim$ %85–87), maksimum torkta $\sim$ %70 $\rightarrow$ $\sim$ %73–78 beklenir. Yük altında 18/20 düzeninin 8. mertebe harmoniği aynı halkayı akımın karesiyle besler; bu pay da kesikle gider. %90 ve üstü için kalıcı paket ve sargı / akım tarafı (R10) birlikte gerekir.

KESİKTEN ÖNCE YARIM SAATLİK KONTROL

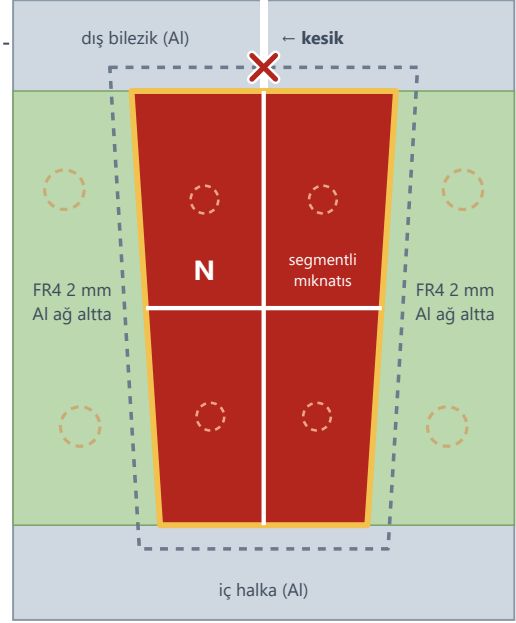
Faz uçları açıkken motoru dışarıdan döndürün, aynı devir ve sürede rotor sıcaklığını ölçün (T1). Yine ısınıyorsa kaynak disk ve mıknatıs — kesik doğru hamle. Isınma belirgin azalıyorsa payın önemli kısmı sürücünün PWM'inde; kesişe ek olarak sürücü tarafına (çıkış şoku, endüktans) da bakılmalı.

Tam kalınlık FR4 ağ üretim açısından zor olduğu için kalıcı çözüm, mevcut alüminyum disk mimarisi korunarak kurgulandı: **(1)** bilezik kesikleri resme işlenir, **(2)** A yüzündeki Al ağlar 2 mm frezelenip B yüzündeki gibi 2 mm FR4 kilit plakası takılır — perçinler iki plakayı birlikte sıkar, **(3)** mıknatıslar segmentli yapılır. Tork yolu ve imalat yöntemi bugünkü ile aynı kalır.

Düzelme 2 — kalıcı paket (Ø310 mm)



Bir mıknatıs penceresi — kalıcı paket



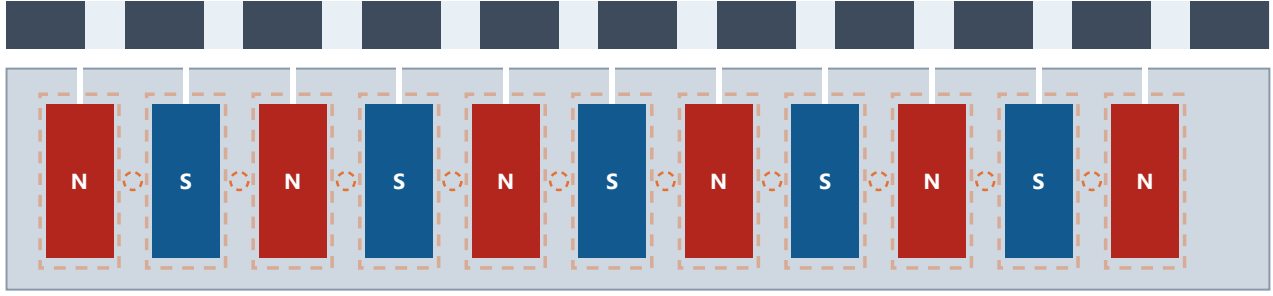
beyaz çentik bilezikte kesik · **yeşil** 2 mm FR4 kilit plakası (A ve B yüzü; Al ağ 2 mm geride) · **beyaz çizgi** mıknatıs segmentleri
sarı nabız akı dalgalanması (sürer) · **gri kesikli** + **X** halka kesikte açılır · **soluk halkalar** ağ yüzey girdabı (azalır)

Şekil 9 — Sol: bilezik kesikleri halkaları açar; A yüzündeki ağlar da artık FR4 ile örtülü ve alüminyum statordan 2 mm geride. Sağ: eski halka yolu kesikte kopar (X); ağ yüzey girdapları zayıflar (soluk), mıknatıs içi girdaplar segmentlerle küçülür. HTML sürümünde hareketlidir.

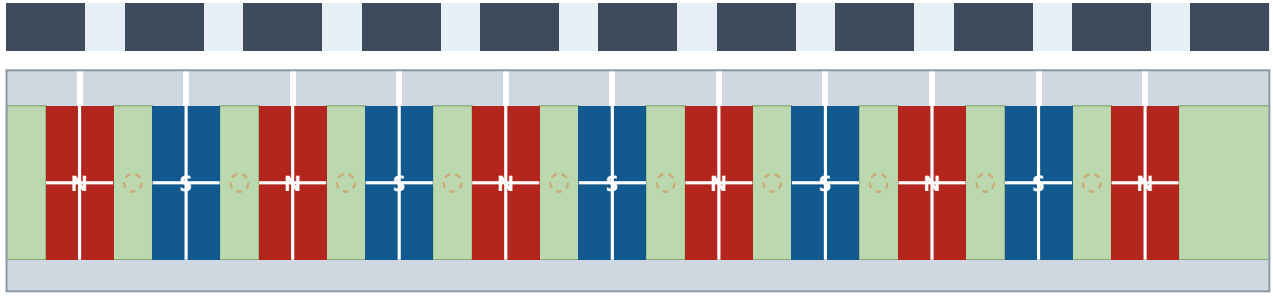
	MEVCUT	KALICI PAKET
Mıknatıs araları	Al ağ 13 mm + B yüzünde 2 mm FR4	Al ağ 11 mm + iki yüzde 2 mm FR4
1. tür — halka akımı	Her mıknatısta var	Yok — bilezik kesğinde açılır
2. tür — yüzey girdabı	A'da doğrudan, B'de FR4 altında	İki yüzde Al 2 mm geride: yüksüzde ~%40, yük altında ~%20 azalır (kaba)
3. tür — mıknatıs içi	Tek parça blokta serbest	Segmentlerle küçülür
Dış bilezik	Al, kesintisiz	Mıknatıs başına bir kesik; yarılar mıknatısı tutar (~34 MPa), istenirse cam elyaf bandaj
Tork yolu · kilit	Al ağ → göbek · B'de perçinli FR4	Aynı · perçinler iki FR4 plakayı birlikte sıkar
İmalat	—	Tel erozyon kesik + ağ cebi frezeleme + ikinci FR4 plaka; yeni malzeme ya da birleşim yok

BEKLENEN SONUÇ

Halka akımı tamamen, mıknatıs girdapları büyük ölçüde, ağ yüzey girdapları kısmen gider. Kalan rotor kaybı esas olarak ağ yüzeyindeki girdabın kalan kısmıdır; oluk kaması (R4) bunu da küçültür. Tam kalınlık FR4 ağ ya da tek parça kompozit taşıyıcı bu kalıntıyı da kaldırır ama imalatı zordur (ekte).

Çözüm 1 — dış bileziğe tam kalınlık kesik (R2, mevcut diske uygulanabilir)

Halka kesikte açılır → 1. tür akım dönemez (soluk) · ağ yüzündeki girdaplar (2. tür) kalır

Çözüm 2 — kalıcı paket: kesikli bilezik + iki yüzde 2 mm FR4 + segmentli mıknatıs

Halka kesikte açılır · ağlar iki yüzde 2 mm FR4 ile örtülü, yüzey girdabı zayıflar (soluk) · mıknatıslar segmentli

Şekil 10 — Üst: dış bileziğe atılan tam kalınlık kesikler (beyaz) her mıknatısın halkasını açar; mıknatısı saran akım artık dönemez, ağ yüzündeki küçük girdaplar ise sürer. Alt: kalıcı pakette aynı kesiklere iki yüzde 2 mm FR4 plaka ve segmentli mıknatıs eklenir; yüzey ve mıknatıs girdapları da azalır. HTML sürümünde hareketlidir.

KESİK İŞE YARASIN DİYE

- Mıknatısın dış ucunun ortasından **diskin dış kenarına kadar** gitmeli; kenara ulaşmayan kesikte akım ucundan dolanır.
- **Tüm kalınlığı (15 mm)** geçmeli; yarım derinlik altta köprü bırakır, halka kapalı kalır.
- Her mıknatısa bir kesik: **20 adet**, tel erozyonla (~0,3 mm) mevcut diske uygulanabilir.
- Kesigi **iletken hiçbir şey köprülememeli**: dolgu epoksi/cam; metal bandaj, pim veya vida iki yanı birleştirmemeli.
- Kesik mıknatısın kendi girdap kaybını çözmez: **segmentli mıknatısla** (R3) birlikte uygulanmalı.

KALICI PAKET — UYGULAMA NOTLARI

- A yüzü ağ cepleri 2 mm frezelenir; FR4 plakalar B yüzündekiyle aynı ölçüde, perçinler iki plakayı birlikte sıkır.
- Kesikler resme işlenir: mıknatıs ekseninde, tam kalınlık, dış kenara kadar; epoksi dolgu.
- Mıknatıslar yalıtımlı segmentli blok olarak tedarik edilir; parça sayısı FEA ile seçilir (literatür: 2 × 2 ilk adım, genelde daha fazlası gerekir); dış ölçü değişmez.
- Isıl döngüde perçin sıklığı izlenmeli (ek).

// Kesik sonrası bilezik yarılarının mıknatısı tutması — kaba hesap (varsayımlar teyit edilecek)
 Mıknatıs $\approx 32 \times 25 \times 15$ mm (fotoğraftan) → $m \approx 0,09$ kg · yarıçap $r \approx 0,134$ m · 1500 rpm ($\omega = 157$ rad/s)
 Merkezkaç kuvveti $F = m \cdot \omega^2 \cdot r \approx 0,09 \times 24\,674 \times 0,134 \approx 300$ N → iki bilezik yarısına ≈ 150 N
 Konsol boyu $L \approx 14$ mm · bilezik kesiti $\approx 5 \times 15$ mm → $W = b \cdot h^2 / 6 \approx 6,3 \cdot 10^{-8}$ m³
 Kök gerilmesi $\sigma = F \cdot L / W \approx 150 \times 0,014 / 6,3 \cdot 10^{-8} \approx 34$ MPa ← 7075-T6 akma ≈ 500 MPa

YALNIZCA BOŞLUK BIRAKMAK İŞE YARAMAZ

Mıknatıs ile alüminyum arasında boşluk bırakmak halkayı açmaz: akım mıknatısın içinden değil, onu saran alüminyumun içinden döner. Boşluk yalnızca mıknatısı alüminyumdan yalıtır; ana kaybı değiştirmez.

Her düzeltmenin hangi girdap akımı türünü ortadan kaldırdığı, neyin kaldığı ve ölçümde ne görülmesi gerektiği. Sayısal üst sınır, 26.10.2026 dinamometre ayrıştırmasından (Bölüm D2) türetilmiştir; ara adımların kazancı FEA ve prototip testile belirlenecektir.

YAPI	ORTADAN KALKAN	KALAN	YÜKSÜZ AKIM / ROTOR ISISI	KAYIP @ 1000 RPM, 150 NM	UYGULAMA
Mevcut	—	1 + 2 + 3	DC 9,4 / 16 A (1000 / 1500 rpm) · 60–100 °C	6,9 kW (ölçülen)	—
R2 kesik	1. tür	2 + 3	rotor ≈ ortam +15–35 °C · DC akım ↓	↓ · orta yükte +2–5 puan	MEVCUT DİSK tel erozyon
R2 + R3	1. tür + 3. türün çoğu	2	↓↓	↓↓	MEVCUT DİSK + segmentli mıknatıs
Kalıcı paket R2 + R1 + R3	1. tür, 3. türün çoğu, 2. türün ~%20–40'ı	2. türün kalanı	hedef: 1500 rpm'de DC ≈ 4–7 A · statora yakın	≈ 3,7–4,5 kW (verim ≈ %78–81)	MEVCUT İMALAT + FR4 plaka, segmentli mıknatıs
Alternatif tam FR4 ağ / kompozit disk	1 + 2 + 3. türün çoğu	—	≈ 3–5 A	alt sınır ≈ 3,7 kW (≈ %81)	ÜRETİMİ ZOR ekte
+ R4 oluk kaması	kaynak küçülür (oluk harmoniği)	—	↓	↓ (yük altında da)	STATOR FEA ile
+ R10 sargı	akımla artan kayıp ↓	—	—	%90+ için gerekli	T9/T10'A BAĞLI

Türler: 1 halka akımı · 2 Al ağ yüzeyi girdabı · 3 mıknatıs içi girdap (Bölüm C). Oklar yalnızca yönü gösterir.

```
// Üst sınır — 1000 rpm, 150 Nm noktası (Bölüm D2)
Toplam kayıp 6,87 kW = akımla artan ≈ 3,3 kW + devirle artan ≈ 3,6 kW
Sağlıklı motorda devirle artan kayıp (demir + sürtünme) ≈ 0,3–0,4 kW
Rotor girdapları tamamen giderse: kayıp ≈ 3,3 + 0,4 ≈ 3,7 kW → verim ≈ 15,8 / (15,8 + 3,7) ≈ %81
%90 için toplam kayıp ≈ 1,8 kW olmalı → akımla artan kaybın da ≈ 1,4 kW'a inmesi gerekir (sargı, Kt, sürücü — R10)
// Varsayım: yük × devir kaybının (~2,7 kW) tamamı rotor kaynaklı; bir kısmı sargı AC kaybıysa kazanç daha az olur
```

ÖNCE / SONRA DOĞRULAMA

- T1: uçlar açık yüksüz koşu, aynı devir ve süre — rotor sıcaklığı.
- T2: termal etiket — Al ağ, bilezik, mıknatıs, göbek; A ↔ B yüzü.
- T3: yüksüz kayıp–devir eğrisi (bugün 0,88 kW @ 1000, 1,53 kW @ 1500 rpm).
- Dinamometre: 1000 rpm / 150 Nm ve orta yük noktaları; verim ham değerlerden, yalnız kararlı noktalarda.

ÖNERİLEN SIRA

- Mevcut diske R2 + R3 → önce/sonra testleri.
 - Sonuç halka akımını doğrularsa kalıcı paket: kesikler resme işlenir + A yüzüne 2 mm FR4 (R1) + segmentli mıknatıs (R3).
 - FEA ile R4 kararı; T9/T10 sonrası R10.
- Orta yükteki %78–83'lük verimin de aynı yönde artması beklenir; artış miktarı yük noktasına bağlıdır.

Aksiyon Planı

SIRA	AKSİYON	ÇIKTI / KARAR
1	T2 termal etiket + T1 uçlar açık koşu + T3 kayıp-devir eğrisi + T9 faz direnci	Isı kaynağının manyetik mi sürücü kaynaklı mı olduğu netleşir; N-1 doğrulanır veya elenir; bakır kaybı payı bulunur.
1	Test yazılımı düzeltmesi: verim ham değerlerden ve yalnız kararlı noktalarda hesaplanmalı; CSV'ye ham güçler de yazılmalı	Bundan sonraki verim raporları gerçek değeri gösterir.
2	Rotor sıcaklığı izlenmeden sürekli anma yükü testini durdurma	Mıknatısların kalıcı hasar görmesi önlenir.
3	T10 AC güç + T11 verim haritası (ikincil testler T4–T8 ekte)	Sürücü kaybı ve tork sabiti; sargı tarafı (R10) kararı.
4	3B FEA modeli: mevcut disk ile R1 / R2 / R3 / R4 seçeneklerinin kayıp karşılaştırması	Rotor ve stator revizyon kararı için sayısal temel.
5	Prototip rotor: dış bileziğe 20 tam kalınlık kesik (R2) + segmentli mıknatıs (R3); T1–T3 ve dinamometre tekrarı	Hipotezin sahada doğrulanması; iyileşme oranı.
6	Kalıcı tasarım: kesikler resme işlenir + A yüzüne 2 mm FR4 (R1) + segmentli mıknatıs (R3), oluk kaması (R4), sargı tarafı (R10); geçme revizyonu ve rotor sıcaklık izleme ekte	Tasarım hazırlığı dokümanına aktarılır.

FEA ve Kesin Hesap İçin Gereken Veriler

GEOMETRİ

- Mıknatıs boyutları: iç/dış yarıçap, açısal genişlik, kalınlık
- Disk ve cep ölçüleri, cepler arası ağ genişlikleri, iç/dış çevre bant genişliği
- Oluk ağzı genişliği, dış ve oluk ölçüleri, stator boyunduruk kalınlığı
- A yüzü Al ağ kalınlığı ve B yüzü FR4 dış kalınlığı

MALZEME VE ELEKTRİK

- Disk alaşımının (7075) ısıtılma durumu ve ölçülmüş iletkenliği
- Mıknatıs tedarikçi veri sayfası (Br, Hcj, sıcaklık katsayıları)
- Sarım sayısı, bobin bağlantı şeması, iki statorun göreceli açısal konumu
- Sürücü modeli, kontrol modu, PWM frekansı, alan yayılatma ayarı

TEST KAYITLARI

Mevcut yüksüz testin devri, süresi, rotor sıcaklığının nasıl ölçüldüğü ve sürücü göstergesinin (tepe / rms) türü. Bu değerler Bölüm D'deki mertebe hesabının daraltılması için gereklidir.

SONRAKİ ADIM

Bu rapordaki rotor bulguları, **motor tasarım hazırlığı — eksik ve hatalı noktalar** çalışmasına girdi olarak aktarılacaktır. O çalışma; İmalat İnceleme Raporu'ndaki tolerans bulgularını, ürün föyündeki boş alanları ve yukarıdaki açık veri listesini tek bir tasarım kontrol listesinde birleştirecektir.

Rapor sonu. Sayısal değerler, belirtilen varsayımlara dayalı mertebe tahminleridir. Nüfuz derinliği ve frekans hesapları doğrudan formülden; kayıp ve sıcaklık değerlendirmeleri tahmini parametrelerden türetilmiştir ve ölçüm ile FEA üzerinden teyit edilmelidir.