Bitirme Projeleri: ANSYS ile Yeniden Çözüm ve Rapor Karşılaştırması

Sandviç kiriş, üç nokta eğme (MAPDL) · Parabolik oluklu güneş kolektörü, katı-akışkan ısıl çözüm (Fluent CHT)
ANSYS Student 2026 R1 · 26 Ekim 2026

Özet

- **Sandviç kiriş:** 10 durumun 3'ünde (5, 8, 11) rapor yeni çözümle %8 içinde uyuyor. Diğer 6 durumda rapor kuvveti 1,46-1,82 kat düşük, durum 9'da ise 1,45 kat yüksek veriyor. Yeni FE, Allen kalın yüz sandviç teorisiyle 0,87-1,13 oranında uyuşuyor.
- **A kirişinde (S275N yüz) yüzler akıyor:** raporun sehim değerinde alt yüz gerilmesi akma sınırının 1,05-1,64 katı. Raporun “geniş emniyet payı” sonucu tersine dönüyor; göçme şekli çekirdek kayması değil, yüz akması.
- **Güneş kolektörü:** su ve bakır boruda rapor tutuyor (Qu farkı %2,8). Yeni çözümde verim su ile %78,6, yağ ile %76,1.
- **Boru malzemesi verimi değiştirmiyor:** bakır ve çelik borunun verimi aynı (fark 0,2 puanın altında). Raporun çelik için verdiği %57 değeri fiziksel olarak açıklanamıyor. Çeliğin tek etkisi alt yüzde daha sıcak bir bölge. Yerçekimsiz modelde yağda en yüksek duvar sıcaklığı 150 °C'den 190 °C'ye çıkıyor. Kaldırma etkisi hesaba katılınca duvar çok daha soğuk kalıyor ve bu fark küçülüyor.
- **Yerçekimi (Set B):** borudaki kaldırma etkisi iç ısı taşınımını 2,5-3 kat artırıyor. Verim dört senaryoda da %78,1-79,0 aralığına çıkıyor. Yağ-çelikte en yüksek duvar sıcaklığı 190 °C'den 80 °C'ye iniyor.
- **Doğrulama:** iki çözümde de ağ inceltildiğinde sonuç %3,4'ten az değişti. Güneşte enerji dengesi %0,04 içinde, bağımsız 1B el hesabıyla verim farkı 0,5 puanın altında.

1. Sandviç kiriş: üç nokta eğme

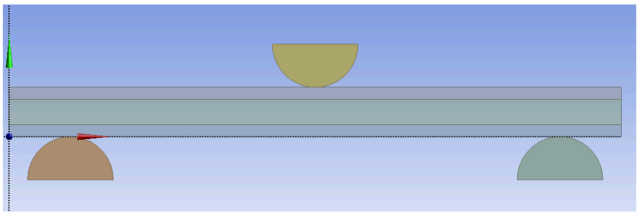
1.1 Model

Kiriş 500×400 mm, açıklık 400 mm. Raporun ANSYS ACP modeli, merdaneler dahil MAPDL'de yeniden kuruldu. Geometri raporla aynı: ortada yarım silindir yük merdanesi, altta iki yarım silindir mesnet.

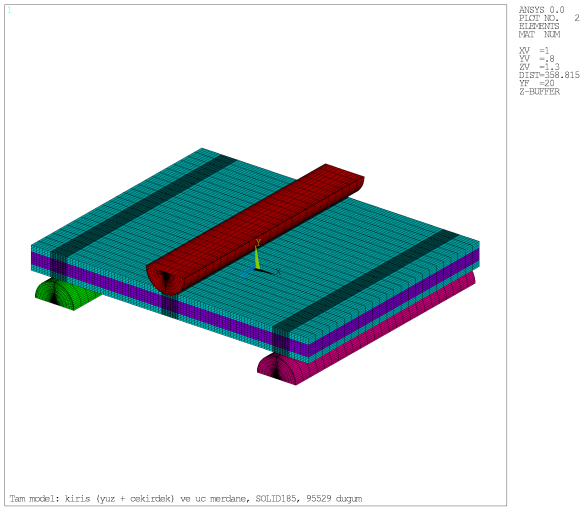
- **Elemanlar:** SOLID185; kirişte eğilmede kilitlenmeyi önleyen artırılmış şekil değiştirme formülasyonu kullanıldı.
- **Merdaneler:** R35 çelik. Merdane ile kiriş arasında sürtünmeli temas var (μ = 0,1, CONTA174/TARGE170).
- **Malzemeler:** raporun tablolarından alındı, ortotrop eksenler kirişe göre yerleştirildi.
- **Yükleme:** deplasman kontrollü. Raporun her durum için verdiği sehim ($\delta \approx$ 1,02-1,12 mm) yük merdanesine uygulandı, tepki kuvveti P okundu.

İki kiriş tipi incelendi:

- **A:** S275N çelik yüz ve E-cam/epoksi tek yönlü çekirdek.
- **B:** Al 6061-T6 yüz ve alüminyum petek çekirdek.



Şekil 1. Rapor: ANSYS modeli, yan görünüş.

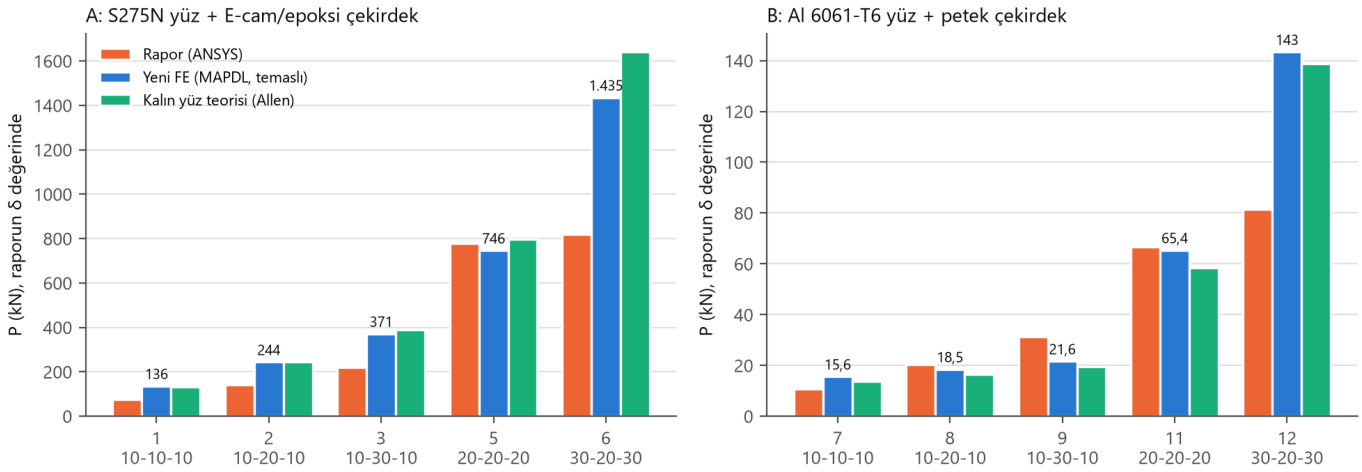


Şekil 2. Yeni: MAPDL tam modeli (malzemeye göre renkli). Yüzler, çekirdek, yük merdanesi ve iki mesnet; 95.529 düğüm.

Tam model ve çeyrek model. Yükleme ve geometri iki eksende simetrik olduğu için 10 durumun hepsi önce çeyrek modelle (x = 0 ve z = 0 simetri düzlemleri) çözüldü; tablolardaki değerler oradan. Tam model, durum 2 ve 8 için aynı sonucu verdi (en yönünde ağ biraz daha seyrek, fark %1,3'ün altında). Görseller ve animasyonlar tam modelden.

Durum	P tam (kN)	P çeyrek (kN)	Fark	σf tam (MPa)	σf çeyrek (MPa)	τc tam (MPa)	τc çeyrek (MPa)
2	240,7	243,8	%-1,3	281,1	284,1	10,00	10,13
8	18,4	18,5	%-0,4	44,4	44,6	0,53	0,54

1.2 Kuvvet-sehim: aynı sehimde tepki kuvveti



Şekil 3. Raporun sehim değerinde tepki kuvveti P. Mavi barların üstünde yeni FE değeri (kN) yazıyor.

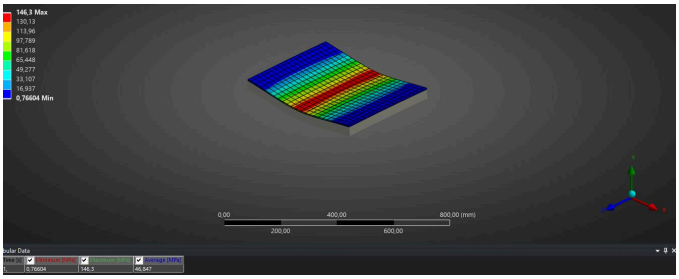
Durum	Kiriş	tf-tc-tf (mm)	δ (mm)	P rapor (kN)	P yeni FE (kN)	Kalın yüz teorisi (kN)	İnce yüz formülü (kN)	FE / teori	FE / rapor	Kayma sehim payı
1	A	10-10-10	1,092	74,4	**135,8**	132,1	128,2	1,03	**1,82**	%12
2	A	10-20-10	1,053	140,6	**243,8**	246,4	238,7	0,99	**1,73**	%23
3	A	10-30-10	1,049	218,6	**371,0**	390,6	378,4	0,95	**1,70**	%32
5	A	20-20-20	1,095	778,7	**746,3**	797,1	714,2	0,94	0,96	%34
6	A	30-20-30	1,045	819,4	**1.435,1**	1.640,4	1.345,8	0,87	**1,75**	%41
7	B	10-10-10	1,037	10,7	**15,6**	13,8	9,3	1,13	**1,46**	%70
8	B	10-20-10	1,020	20,2	**18,5**	16,4	11,4	1,13	0,92	%83
9	B	10-30-10	1,024	31,4	**21,6**	19,5	14,0	1,11	**0,69**	%89
11	B	20-20-20	1,117	66,6	**65,4**	58,3	23,6	1,12	0,98	%85
12	B	30-20-30	1,044	81,4	**143,4**	138,7	35,1	1,03	**1,76**	%85

FE ile teori arasındaki farkın nedenleri:

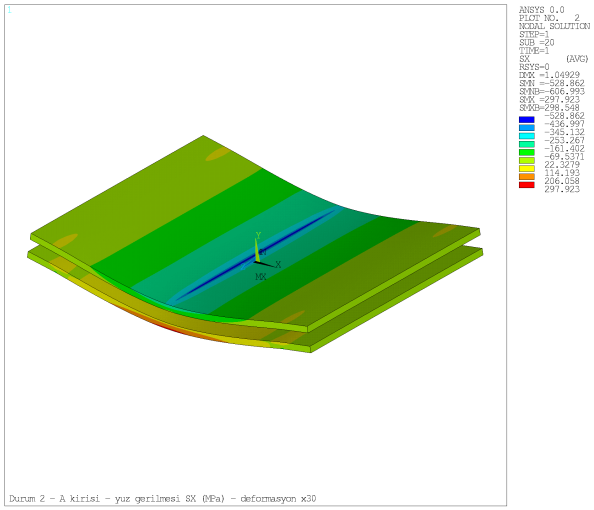
- **A kirişinde FE teorinin %5-13 altında:** merdane ve temas ezilmesi uygulanan sehimin bir kısmını alıyor. Kirişin kendi orta sehimi δ'nin 0,81-0,96'sı.
- **B kirişinde FE teorinin yaklaşık %12 üstünde:** kiriş 400 mm geniş olduğu için plaka etkisi var, $1/(1-\nu^2) \approx 1{,}12$.

Raporun kullandığı ince yüz formülü petek çekirdekte P'yi 4 kata kadar düşük veriyor.

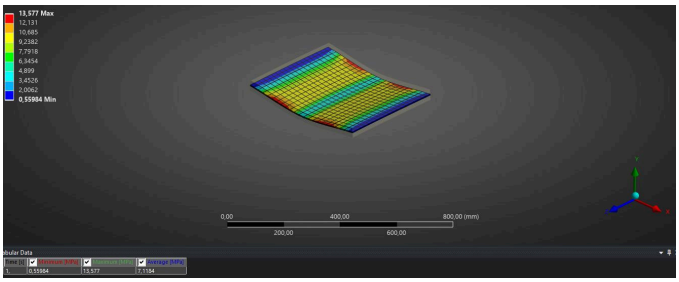
1.3 Gerilmeler ve emniyet



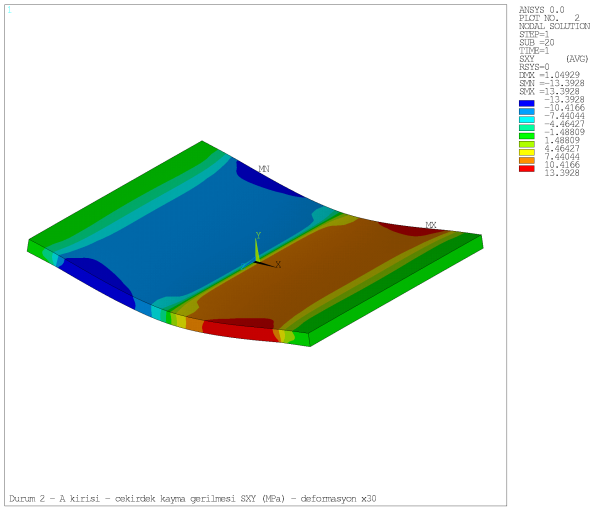
Şekil 4. Rapor şekil 20: yüz gerilmesi, durum 2. Gösterilen en büyük değer 146,3 MPa.



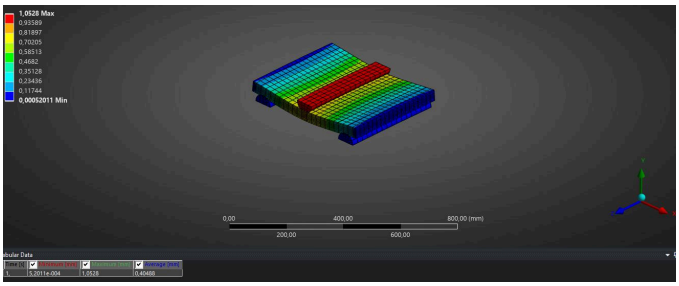
Şekil 5. Yeni: durum 2, yüzlerde eğilme gerilmesi σx (MPa), deformasyon ×30. Orta açıklık alt lifinde ortalama 284 MPa; üst yüzde merdane altında basma yoğunlaşıyor.



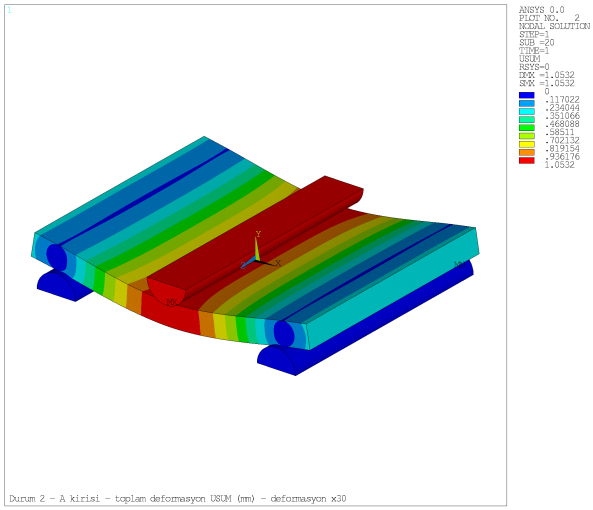
Şekil 6. Rapor şekil 21: çekirdek, durum 2. Gösterilen en büyük değer 13,6 MPa; büyüklüğün adı şekilde okunmuyor.



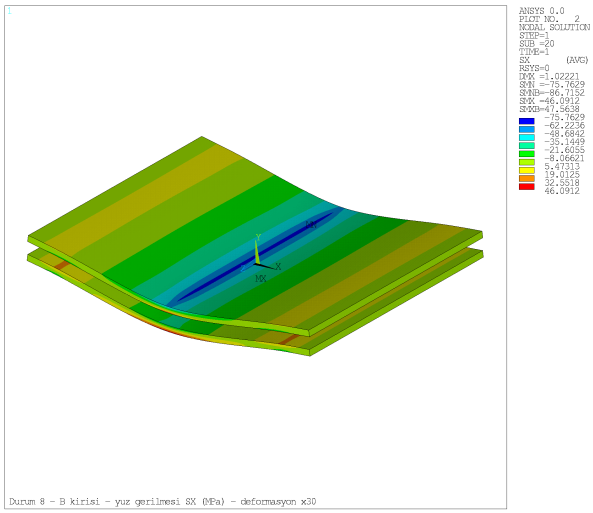
Şekil 7. Yeni: durum 2, çekirdekte kayma gerilmesi τxy (MPa). Çeyrek açıklıkta orta düzlemde 10,1 MPa.



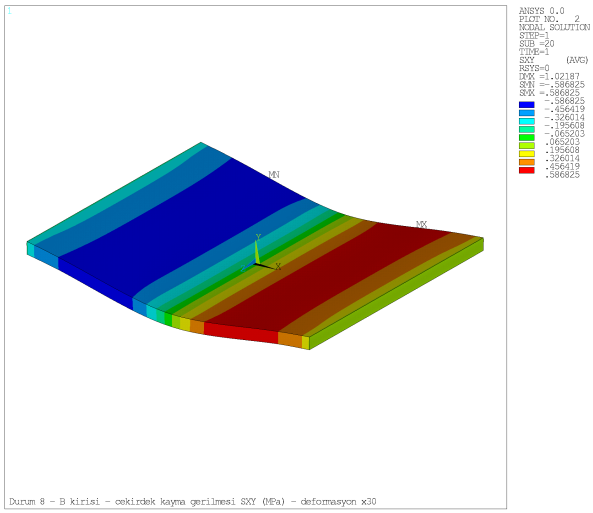
Şekil 8. Rapor şekil 22: deformasyon, durum 2.



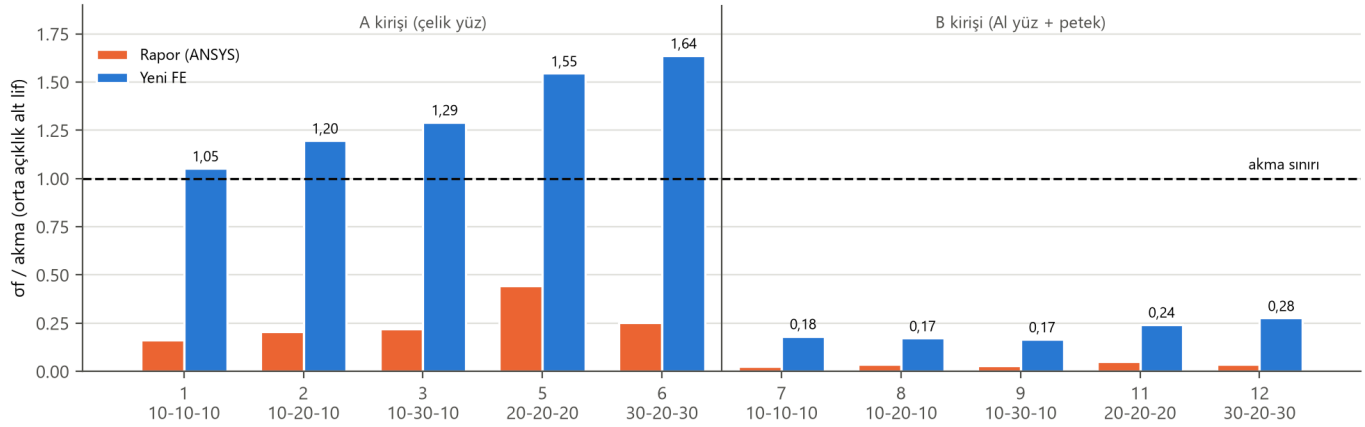
Şekil 9. Yeni: durum 2, toplam deformasyon (mm), ×30 büyütülmüş. Yük merdanesi raporun δ değeri kadar iniyor.



Şekil 10. Yeni: durum 8 (B kirişi, petek çekirdek), yüzlerde σx (MPa).



Şekil 11. Yeni: durum 8, petek çekirdekte τxy (MPa). Sehimin %83'ü bu kaymadan geliyor.



Şekil 12. Orta açıklıkta alt yüz gerilmesinin akma sınırına oranı. Kesikli çizginin üstündeki her durumda yüz akıyor.

Durum	Kiriş	σf rapor	σf yeni FE	σf teori	σf,max rapor	σf,max yeni	Yüz akma	σf / akma	τc rapor	τc yeni FE	τc / dayanım
1	A	38,3	**249,9**	275,3	117,9	307,9	237	**1,05**	5,28	**7,95**	%10
2	A	48,9	**284,1**	353,7	146,3	409,1	237	**1,20**	7,12	**10,13**	%13
3	A	52,5	**306,7**	432,5	169,0	509,4	237	**1,29**	8,65	**11,93**	%15
5	A	105,0	**366,8**	488,6	340,9	542,5	237	**1,55**	25,60	**20,90**	%26
6	A	60,0	**388,8**	568,9	221,5	612,5	237	**1,64**	19,88	**28,42**	%36
7	B	7,1	**47,3**	48,4	34,6	54,6	259	0,18	0,55	**0,63**	%28
8	B	9,0	**44,6**	48,7	48,1	56,6	259	0,17	0,75	**0,54**	%24
9	B	7,5	**43,1**	50,9	37,5	60,2	259	0,17	0,62	**0,50**	%22
11	B	13,2	**62,9**	73,2	69,2	84,1	259	0,24	1,21	**0,77**	%35
12	B	9,4	**71,7**	92,5	47,3	102,8	259	0,28	1,12	**0,87**	%39

Tablodaki tüm gerilmeler MPa.

- **σf:** orta açıklıkta alt yüzün dış lifi, genişlik boyunca ortalama.
- **σf,max:** yüz elemanlarındaki en büyük değer (temas altında, eleman merkezi).
- **τc:** çekirdek orta düzleminde, x = 100 mm.
- **Çekirdek kayma dayanımı:** A için 80 MPa, B için 2,24 MPa.

> **Sonuç değişiyor.**
> - **A kirişi:** raporun verdiği yaklaşık 1,05 mm sehimde S275N yüzler bütün durumlarda akma sınırını aşıyor. Çekirdek kayması dayanımın yalnız %10-36'sı, yani A için belirleyici göçme şekli yüz akması.
> - **B kirişi:** emniyetli. Yüz gerilmesi akmanın en fazla 0,28'i, petek kayması dayanımın %22-39'u.

1.4 Raporun hesaplarındaki tutarsızlıklar

- **Analitik gerilme:** raporun analitik σf değeri, kendi bölüm 4.1.3'teki σf = PL/(4·h·tf·b) formülünün yalnız 0,4-0,5 katı.
- **Kalın çekirdeğin B kirişine etkisi:** B kirişinde sehimin %70-89'u çekirdek kaymasından geliyor. Bu yüzden çekirdeği 10'dan 30 mm'ye çıkarmak P'yi yalnız 15,6 kN'dan 21,6 kN'a çıkarıyor. Raporun gösterdiği 3 katlık artış (10,7'den 31,4 kN'a) yeni çözümde yok.
- **Kütleler:** raporun kütleleri yaklaşık 2 kat düşük. Durum 1 için doğrusu 35,4 kg (raporda 16,8 kg), durum 6 için 102,2 kg (raporda 48,8 kg).

Ağ yakınsaması. İnce ağda temas bölgesi 0,5 mm, yüz kalınlığı 6, çekirdek kalınlığı 8 eleman.

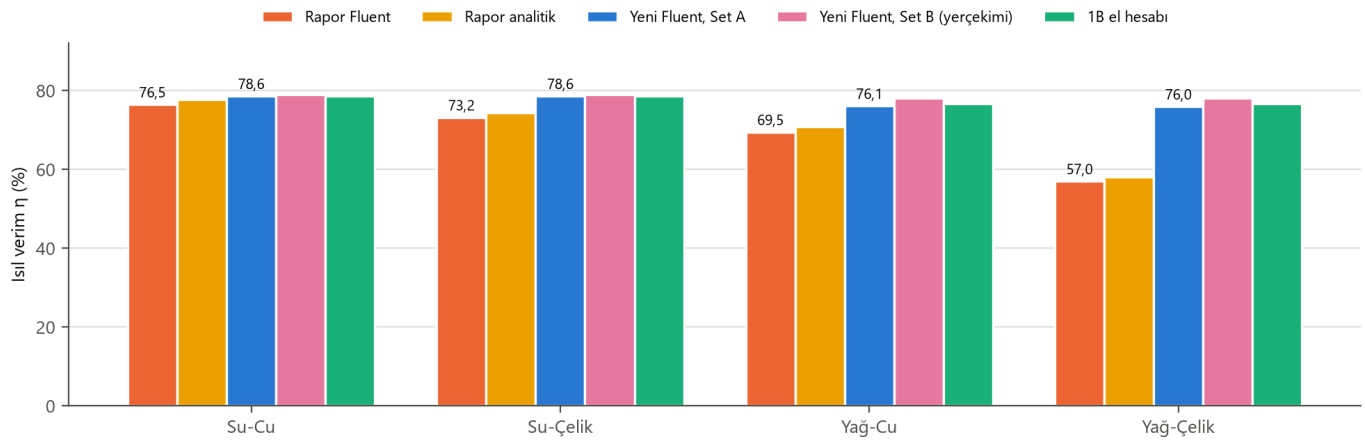
Durum	P kaba (kN)	P ince (kN)	Fark	σf kaba (MPa)	σf ince (MPa)	Fark
2	243,8	244,1	%0,1	284,1	284,6	%0,2
5	746,3	720,8	%-3,4	366,8	354,6	%-3,3
8	18,5	18,5	%-0,0	44,6	44,6	%0,0
11	65,4	64,2	%-1,7	62,9	61,9	%-1,6

2. Parabolik oluklu güneş kolektörü

2.1 Model

- **Geometri:** açıklık 1 m, odak 0,25 m, boy 1 m. Emici boru Ø50×1 mm, vakumlu cam zarf içinde.
- **Güneş girdisi:** G = 476 W/m² (Manisa DNI, rapor). Optik özellikler: ayna ρ 0,90, cam τ 0,92, boru α 0,95.
- **Kaynak terimi:** güneş ideal optikle boru cidarına hacimsel kaynak olarak verildi. Alt yüzü odaklanmış yansıyan ışın, üst yüzü doğrudan güneş ısıtıyor; borunun kendi gölgesi de dahil. Toplam 376,5 W.
- **Kayıp:** dış yüzeyden cama yalnız ışınımla (ε 0,10, cam 29,5 °C).
- **Akış:** laminer, giriş 27 °C.
  - Su: 0,020 kg/s, Re 529.
  - Termal yağ: 0,0157 kg/s, Re 14. Yağ viskozitesi 0,03 Pa·s; raporda yok, varsayım.
- **Ağ:** kaba 345.600, ince 921.600 hücre.
- **Set A:** yerçekimi kapalı.
- **Set B:** yerçekimi açık, kaldırma kuvveti Boussinesq yaklaşımıyla modellendi. Rapor yerçekiminden söz etmiyor; bu set yalnız duyarlılık kontrolü.

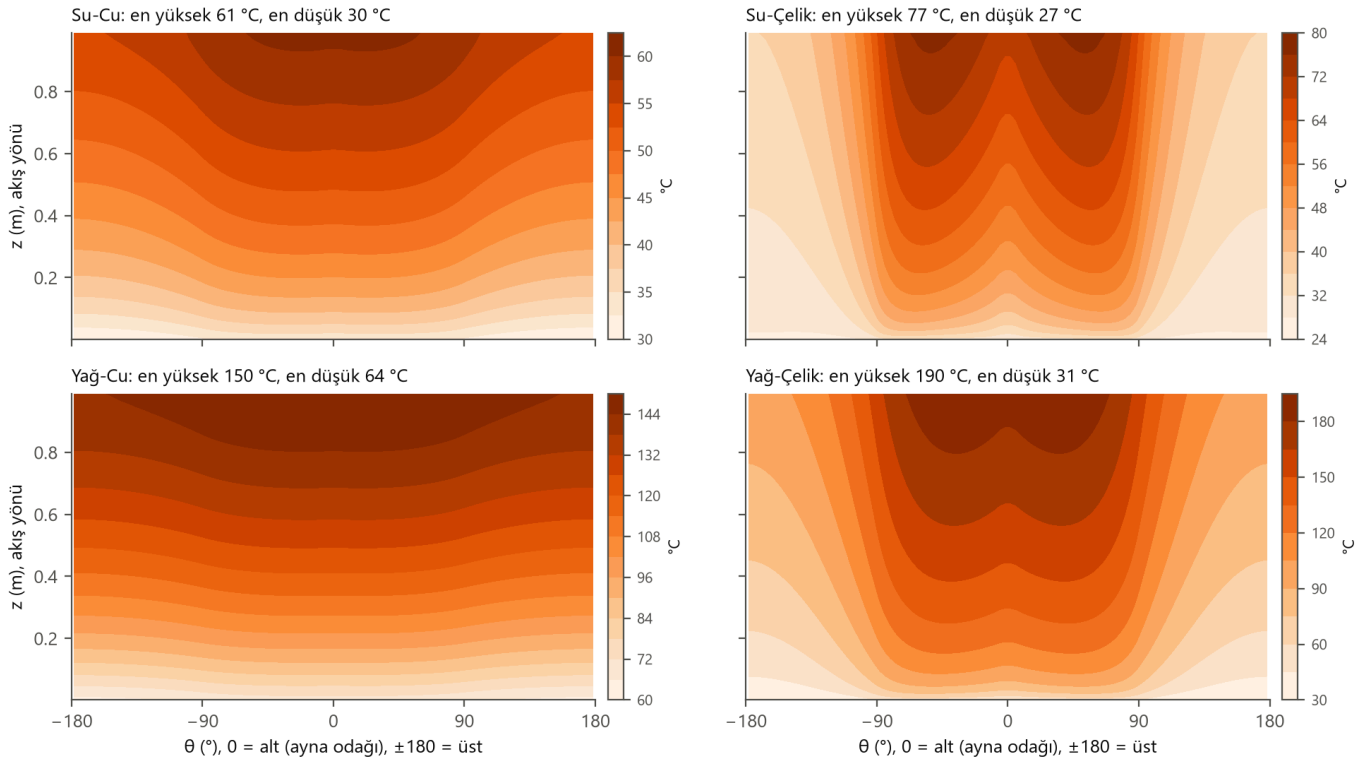
2.2 Isıl verim



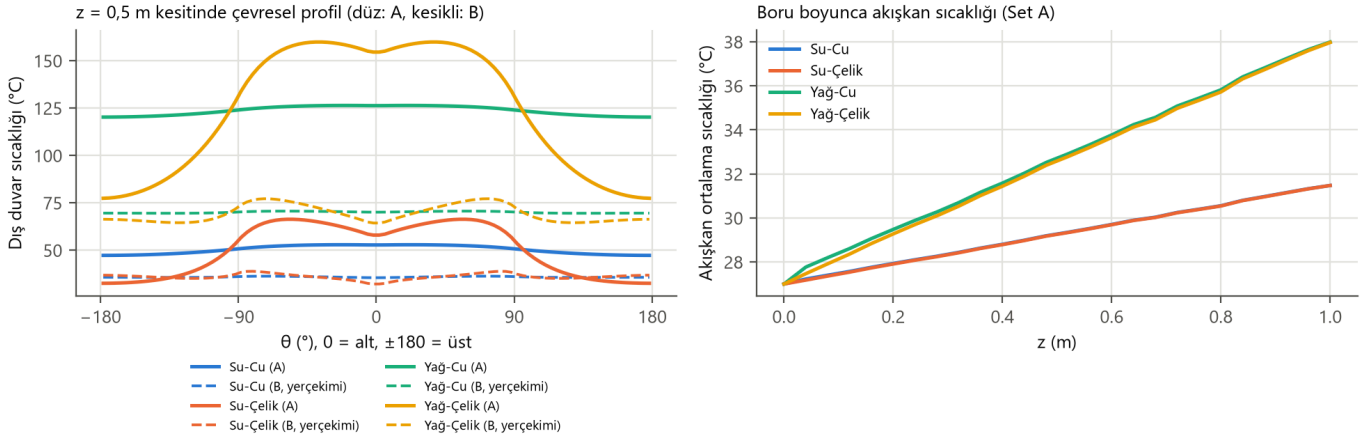
Şekil 13. Isıl verim karşılaştırması (η = Qu / (G·A)).

Senaryo	η rapor Fluent (%)	η rapor analitik (%)	η yeni A (%)	η yeni B (%)	Qu rapor (W)	Qu yeni (W)	T çıkış rapor (°C)	T çıkış yeni (°C)	Işınım kaybı (W)	T dış max (°C)
Su-Cu	76,5	77,7	**78,6**	79,0	364,1	**374,2**	31,36	**31,47**	2,2	60,5
Su-Çelik	73,2	74,3	**78,6**	79,0	348,4	**374,2**	31,17	**31,47**	2,3	77,3
Yağ-Cu	69,5	70,9	**76,1**	78,1	330,8	**362,4**	37,02	**37,99**	14,0	149,9
Yağ-Çelik	57,0	58,1	**76,0**	78,1	271,3	**361,6**	35,22	**37,97**	14,8	190,3

2.3 Duvar sıcaklığı

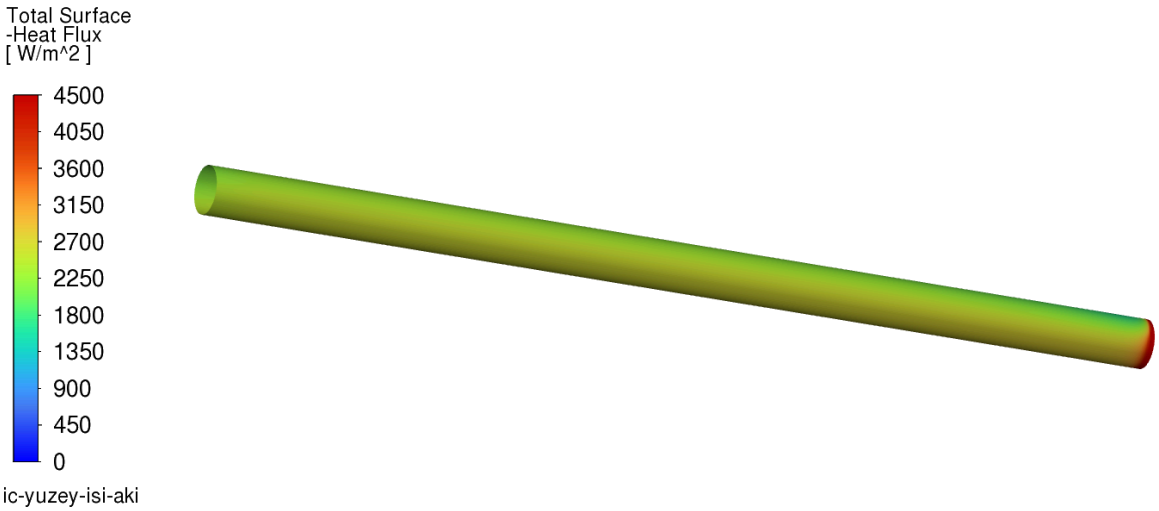


Şekil 14. Set A: boru dış yüzeyinin açılmış sıcaklık haritası (yatay: çevre açısı, dikey: akış yönü). Bakırda çevre boyunca neredeyse eş sıcaklık var. Çelikte ısı çevre boyunca yayılamadığı için odaklanan ışının düştüğü alt yarıda sıcak bölge oluşuyor.

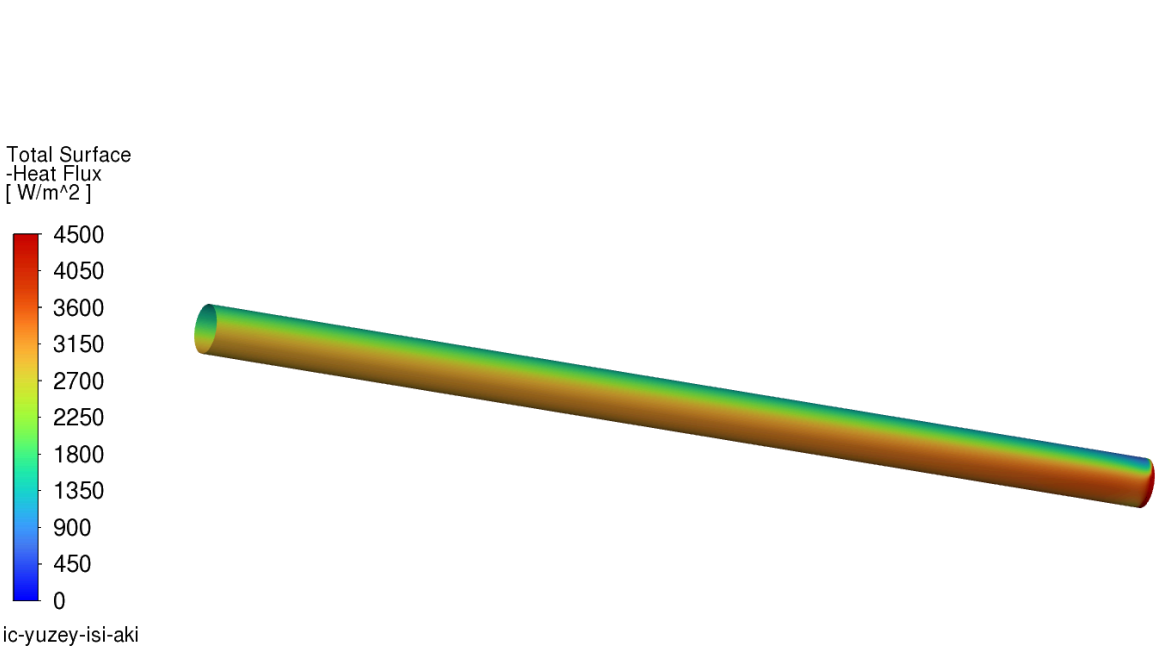


Şekil 15. Solda z = 0,5 m kesitinde çevresel duvar sıcaklığı; θ = 0'daki çukur borunun kendi gölgesi. Sağda akışkan sıcaklığı: bakır ve çelik eğrileri üst üste, yani akışkana aynı ısı gidiyor.

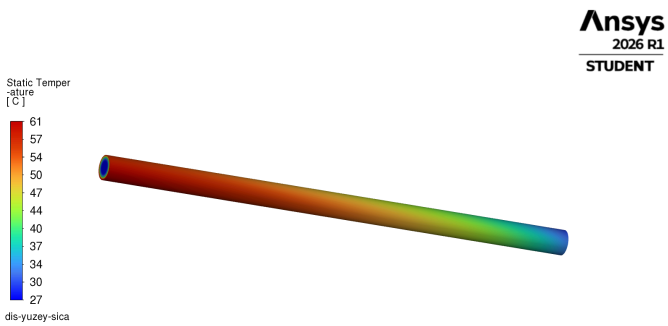
Fluent 3B boru görüntüleri (Set A, kararlı). Raporun Fluent modelinde cam zarf ve güneş yükü (Solar Load) modeli var. Yeni modelde cam yok (vakum, yalnız ışınım kaybı), güneş boru cidarına hacimsel kaynak olarak veriliyor. Bu yüzden raporun "camdan geçen akı" görüntüsünün birebir karşılığı yok. Karşılık olarak boru yüzey sıcaklığı ve borudan akışkana geçen ısı akısı gösteriliyor; ısı akısı iki senaryoda aynı ölçekte (0-4500 W/m^2), boru uçları ölçek dışında.



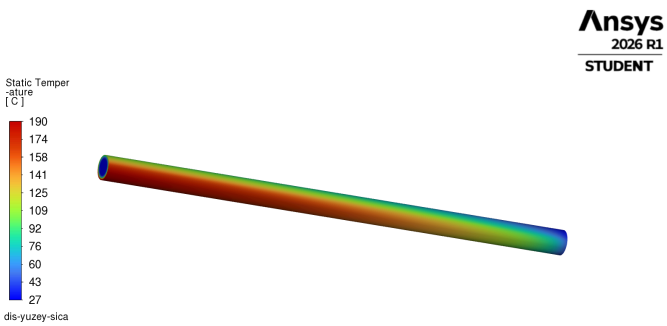
Şekil 16. Yeni: su-bakır, borudan suya geçen ısı akısı (W/m^2), yan-alttan bakış. Bakır cidar güneş ısısını çevre boyunca dağıttığı için akı alt ve üst yüzde birbirine yakın.



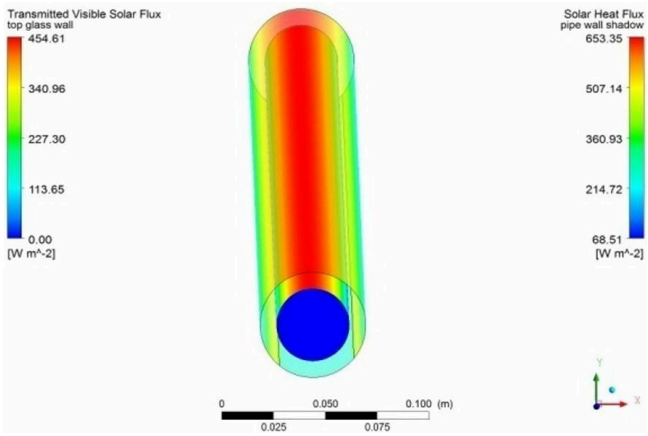
Şekil 17. Yeni: yağ-çelik, aynı görünüş ve ölçek. Çelik ısıyı yayamadığı için akı, aynanın güneşi odakladığı alt yüzde toplanıyor (kırmızı), üst yüz düşük kalıyor.



Şekil 18. Yeni: su-bakır, boru dış yüzey sıcaklığı (°C).



Şekil 19. Yeni: yağ-çelik, boru dış yüzey sıcaklığı (°C). Alt yüz ve çıkışa doğru en sıcak bölge.



Şekil 20. Rapor şekil 31: boru üzerindeki güneş ısı akısı (Fluent Solar Load). Gösterilen aralık 68,5-653 W/m².

Yeni modelde emilen akı üst yüzde 416 W/m², odaklanan alt yüzde ise yaklaşık 3,7 kW/m²'ye kadar çıkıyor. Raporun şeklinde boru yüzeyindeki en yüksek akı 653 W/m². Bu akı boru yüzeyine (0,157 m²) yayılsa en fazla yaklaşık 100 W eder; raporun aynı senaryoda verdiği Qu ise 364 W. Şeklin hangi senaryoya ait olduğu ve kurgu dosyası elimde olmadığı için bu farkı kesin bir hataya bağlamıyorum. Yine de raporun güneş yükü kurgusu kontrol edilmeli.

2.4 Doğrulama

Senaryo (Set A)	Kaynak (W)	Qu = ṁcpΔT (W)	Işınım kaybı (W)	Dengesizlik
Su-Cu	376,5	374,2	2,2	%0,026
Su-Çelik	376,5	374,2	2,3	%0,008
Yağ-Cu	376,5	362,4	14,0	%0,033
Yağ-Çelik	376,5	361,6	14,8	%0,011

Ağ yakınsaması (345.600'den 921.600 hücreye):

Senaryo	Qu kaba (W)	Qu ince (W)	Fark	T dış max kaba (°C)	T dış max ince (°C)
Su-Cu	374,25	374,23	%-0,005	60,55	60,61
Yağ-Çelik	361,63	361,78	%0,041	190,33	189,92

Bağımsız 1B model. Çevre boyunca eş sıcaklıklı emici, Sieder-Tate iç taşınımı ve ışınım kaybıyla kurulan 1B enerji dengesi su için %78,7, yağ için %76,6 verim veriyor. Fluent'le farkı 0,5 puanın altında.

2.5 Set B: yerçekimi ve kaldırma kuvveti

Senaryo	η A (%)	η B (%)	Işınım kaybı B (W)	ṁcpΔT B (W), son 5 döngü	T dış max A (°C)	T dış max B (°C), son 5 döngü ort. (aralık)
Su-Cu	78,6	79,0	0,7	357-386	60,5	39,4 (39,0-39,7)
Su-Çelik	78,6	79,0	0,6	397-429	77,3	40,9 (40,5-41,4)
Yağ-Cu	76,1	78,1	4,8	372-372	149,9	73,7 (73,7-73,7)
Yağ-Çelik	76,0	78,1	4,7	372-372	190,3	80,0 (80,0-80,0)

- **Isı taşınımı:** yatay boruda ısınan akışkan yükseliyor (su için Ri ≈ 23, yağ için Ri ≈ 300). Kesitte ikincil girdaplar oluşuyor ve iç ısı taşınım katsayısı artıyor: suda 125'ten 372-405 W/m^{2}K'ye, yağda 28'den 68 W/m^{2}K'ye. Duvar sıcaklıkları belirgin düşüyor.
- **Verim:** duvar soğuduğu için ışınım kaybı azalıyor ve verim biraz artıyor (yağda yaklaşık 2 puan, suda 0,3 puan). Bakır ile çelik arasında fark yine yok.
- **Yakınsama, yağ:** kararlı çözüm temiz oturdu.
- **Yakınsama, su:** Rayleigh sayısı yaklaşık $4 \cdot 10^7$. Son döngülerde en yüksek duvar sıcaklığı 40,5-41,4 °C arasında salınıyor (su-çelik). Akış gerçekte zamana bağlı olabilir, bu yüzden tablodaki sıcaklıklar son 5 döngünün ortalaması ve aralığı. ṁcpΔT ile hesaplanan ısı da döngüden döngüye oynadığı için verim "kaynak − ışınım kaybı" dengesinden hesaplandı.
- **Sonuca etkisi:** raporla verim karşılaştırmasının vardığı sonuç değişmiyor. Değişen tek şey, çeliğin sıcak bölgesinin yerçekimsiz modeldekinden çok daha ılımlı olması.

2.6 Fark nereden geliyor

- **Boru malzemesi:** vakumlu alıcıda kayıp yalnız ışınımla oluyor: suda 2 W, yağda 14-15 W. 1 mm çelik cidarın iletim direnci ($D_o/2k \cdot \ln(D_o/D_i) = 6{,}3 \cdot 10^{-5}$ m^{2}K/W) iç taşınım direncinin %1'inden az. Bu yüzden çelik, ısıyı akışkana bakır kadar iyi aktarıyor; değişen yalnız çevresel sıcaklık dağılımı. Ortalama dış yüzey sıcaklığı, dolayısıyla ışınım kaybı, neredeyse aynı kalıyor.
- **Raporun çelik cezası:** raporda hem Fluent hem analitik hesapta çelik verimi bakıra göre suda 3,3, yağda 12,5 puan düşürüyor. Raporun Qu ve çıkış sıcaklığı kendi içinde tutarlı, yani rapordaki modelde akışkana gerçekten daha az ısı gitmiş. Raporun Fluent kurgusu ve ara değerleri elimde olmadığı için nedeni kesin söyleyemiyorum.
- **Su ve bakır:** en basit durumda rapor ile yeni çözüm arasındaki fark yalnız 2,1 puan ve çıkış sıcaklığında 0,11 K.

3. Farkların nedenleri

Her madde için güven düzeyi yazıldı. **Kesin**: raporun kendi sayılarından doğrulandı. **Güçlü/orta**: sayılarla tutarlı ama raporun ANSYS dosyası olmadan kanıtlanamıyor. Raporun `.wbpj` dosyaları incelenirse tahminler birkaç dakikada doğrulanabilir.

3.1 Sandviç kiriş

Raporun gerilmeleri hacim ortalaması (kesin). Raporun şekil 20-21'indeki ANSYS tablo verisi ile raporun tablosu:

	Şekildeki ANSYS değeri	Raporun tablosu (durum 2)
Yüz, en büyük (Maximum)	146,3 MPa	**σf,max = 146,30 (aynı)**
Yüz, ortalama (Average)	46,9 MPa	σf = 48,85 (yakın)
Çekirdek, ortalama (Average)	7,1184 MPa	**τc = 7,12 (aynı)**

Raporda σf ve τc diye verilen değerler, bütün yüz ve bütün çekirdek hacmi üzerinden alınmış ortalama gerilmeler. En küçük değerler pozitif olduğu için bu büyüklük büyük olasılıkla eşdeğer (von Mises) gerilme. Ortalama, orta açıklıktaki en yüksek gerilmeyi düşük gerilmeli bölgelerle seyreltiyor. Bu yüzden raporun gerilmeleri 3-6 kat düşük çıkıyor ve "geniş emniyet payı" sonucuna varılıyor. Emniyet için kritik noktadaki değer okunmalı: orta açıklıkta yüzün dış lifi, çekirdekte çeyrek açıklıktaki orta düzlem.

Raporun modeli kirişin yarısı gibi davranıyor (güçlü tahmin). Kanıtlar:

- Raporun kütleleri, tam kirişin kütlesinin yarısının yaklaşık %95'i: durum 1'de 16,8'e karşı 17,7 kg, durum 6'da 48,8'e karşı 51,1 kg. Kalan %5 büyük olasılıkla yoğunluk farkından geliyor.
- A kirişinde yeni P değerinden merdane ezilmesi çıkarılıp ikiye bölününce durum 1, 2, 3 ve 6 raporla %5-8 içinde örtüşüyor (tablo).

Bu, simetri için yarım model (ya da 200 mm genişlik) kurulup kütle ve kuvvetin ikiyle çarpılmadığını düşündürüyor. Kuvvetin tek mesnedin tepkisinden (P/2) okunması da aynı sonucu verir, ama kütlenin de yarı çıkması ilk ihtimali güçlendiriyor. Durum 5 bu düzene uymuyor; o durumda farklı bir okuma yapılmış olabilir.

Durum (A)	Yeni P (kN)	Yarım kiriş, rijit mesnet beklentisi (kN)	Rapor P (kN)	Rapor / beklenti
1	135,8	70,8	74,4	1,05
2	243,8	131,3	140,6	1,07
3	371,0	207,3	218,6	1,05
5	746,3	427,6	778,7	1,82
6	1.435,1	883,4	819,4	0,93

Petek çekirdekte (B) ayrı bir sorun var (zayıf-orta güven). Raporda B kirişinin kuvveti çekirdek kalınlığıyla neredeyse doğrusal artıyor (10,7 → 20,2 → 31,4 kN); bu, eğilmenin baskın olduğu bir kirişin davranışı. Gerçekte petekte sehimin %70-89'u kaymadan geliyor ve kalınlığın etkisi küçük (yeni modelde 15,6 → 21,6 kN). Muhtemel neden: ACP'de petek malzemesinin yönü (şerit doğrultusu) ya da kayma modülleri yanlış eksene oturmuş, çekirdek olması gerekenden rijit davranmış.

Raporun analitik değerleri bağımsız bir kontrol değil (çıkarım). Raporun analitik kuvvetleri, 10 durumun hepsinde kendi ANSYS değerleriyle %5 içinde örtüşüyor. Ama bu değerleri üreten bir formül bulunamadı: 540 varyant denendi (açıklık 400/500 mm, genişlik 400/500 mm, ince/kalın yüz, üç kayma modülü), hiçbiri raporun sayılarını %26'dan iyi tutturmadı.

3.2 Güneş kolektörü

- **Su-bakırda iki model tutuyor (kesin).** Fark 2,1 puan ve 0,11 K. Geometri, debi ve optik girdiler aynı. Kalan fark yeni modelin ideal kabullerinden geliyor olabilir: yansıyan ışının tamamı boruya ulaşıyor, uç kaybı yok, cam sıcaklığı sabit. Bunlar verimi biraz artırır.

- **Raporun çelik cezası sıcaklıkla büyüyen bir kayıptan geliyor (orta güven).** Ceza suda 3,3, yağda 12,5 puan; duvarın sıcak olduğu yağda büyüyor. Vakumlu alıcıda kayıp yalnız birkaç watt ışınım. Raporun modelinde duvar sıcaklığıyla hızla artan daha büyük bir kayıp olmalı: halkada hava, dışa taşınım ya da yüksek ışınım yayma katsayısı. Çeliğin alt yüzdeki sıcak bölgesi o modelde daha çok ısı kaybettirmiş olabilir. Analitik hesaptaki aynı ceza F' faktörüne bağlanamaz; cidar terimi fiziksel olarak %1'den küçük. Bu, bir girdi ya da birim hatasına işaret ediyor.
- **Raporun güneş yükü kurgusu tutarsız (güçlü).** Şekil 31'deki en yüksek akı 653 W/m^2; bütün boruya yayılsa en fazla yaklaşık 100 W eder, rapor ise 364 W faydalı ısı veriyor. İdeal odaklamada borunun alt yüzü yaklaşık 3,7 kW/m^2 almalı. Şekil aynadan yansıyan ışını içermiyor gibi; ısı modele başka bir yoldan girmiş olabilir.
- **Yeni modelin sınırları.** Cam zarf ve Fluent'in güneş yükü modeli yok. Yağ viskozitesi varsayım. Yerçekimi açılınca duvar sıcaklıkları belirgin düşüyor (yağ-çelikte 190 °C'den 80 °C'ye); gerçek davranış buna daha yakın.

> **Genel değerlendirme.** Fark modelleme becerisinden çok sonuç okuma ve kurgu kontrolünde:
> - yanlış büyüklüğün okunması (ortalama gerilme),
> - simetri ya da reaksiyon katsayısının atlanması,
> - petek yönünün ve güneş yükü kurgusunun kontrol edilmemesi.
>
> Bakılacak yerler:
> - **Mechanical:** reaksiyon probu ve model genişliği/simetrisi.
> - **ACP:** petek yönü.
> - **Fluent:** duvar sınır şartı (vakum, taşınım, yayma katsayısı) ve güneş yükü ayarları.

4. Raporlar için düzeltme listesi

Sandviç kiriş

1. Kuvvet-sehim sonuçları (durum 1-3, 6, 7, 9, 12) ve gerilmeler yeniden hesaplanmalı.
2. A kirişinin emniyet sonucu “yüz akar” olarak değişmeli; göçme şekli çekirdek kayması değil, yüz akması.
3. Kütle tablosu düzeltilmeli; değerler yaklaşık 2 kat düşük.
4. Analitik bölümde, özellikle petek çekirdek için, ince yüz formülü yerine kalın yüz (Allen) formülü kullanılmalı. Gerilme formülünün sayısal uygulaması da kontrol edilmeli.

Güneş kolektörü

1. Çelik ve yağ senaryolarında verim yeniden hesaplanmalı. Vakumlu alıcıda çelik boru verimi düşürmez.
2. Tartışma, çeliğin gerçek etkisine çevrilmeli: alt yüzde sıcak bölge ve buna bağlı ısıl gerilme. Yağda bu bölge yerçekimsiz modelde yaklaşık 190 °C, kaldırma etkisiyle yaklaşık 80 °C.
3. Fluent güneş yükü kurgusu (yansıyan ışının boruya ulaşması) kontrol edilmeli.

Varsayımlar ve sınırlar

- **Sandviç:** malzemeler doğrusal elastik. Akmayı geçen gerilmeler (A kirişi) gerçekte plastikleşmeyle biraz düşer, ama “akma var” sonucu değişmez. Durum 4 ve 10 raporda olmadığı için atlandı.
- **Güneş, optik:** ideal kabul edildi; hata açısı ve izleme hatası yok. Cam sıcaklığı sabit 29,5 °C.
- **Güneş, yağ viskozitesi:** varsayım. Verime etkisi zayıf; 1B modelde h ∝ μ^(−1/3).
- **Dosyalar:** `300-Projects/CAD/ansys/bitirme/` altında sandvic/, gunes/, analitik/, KARSILASTIRMA.md. Fluent çalışma klasörü `D:\ansys_calisma\gunes`.