

Güneş türü yıldızlarda değişkenliğe etki eden süreçler

Emre Işık

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Türk-Alman Üniversitesi, İstanbul

<https://eiscal.notion.site>



Akış

- Etkin bölge yuvalanmasının önemi
- Güneş türü yıldızlarda faküla-leke baskınlığı
- Manyetik akı çıkışı ve taşınımı (FEAT) modeli
- **FEAT uygulamaları**
 1. Çizgi kesiti değişkenliği
 2. Işıkölçümsel değişkenlik
 3. Astrometrik yalpalama

Akış

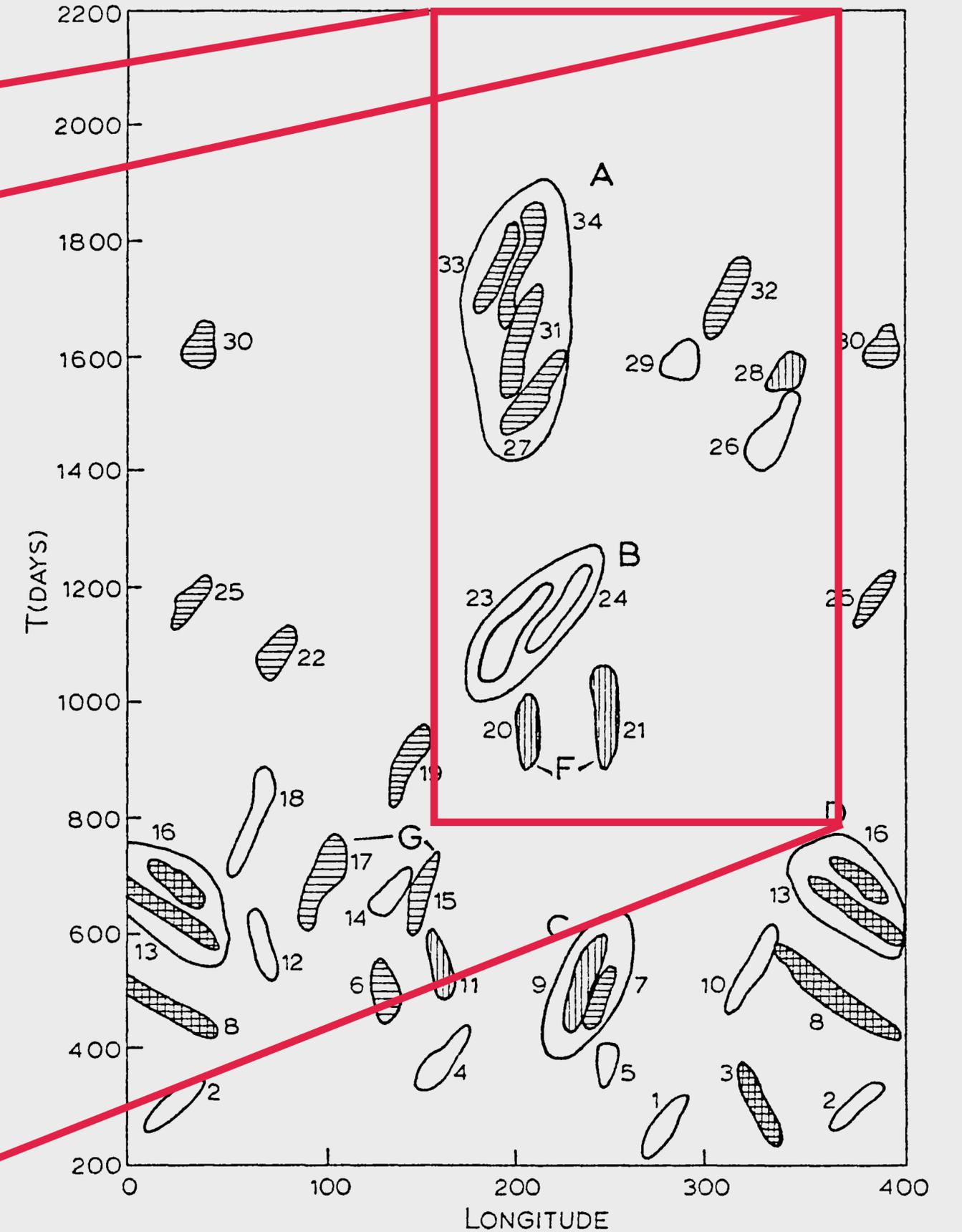
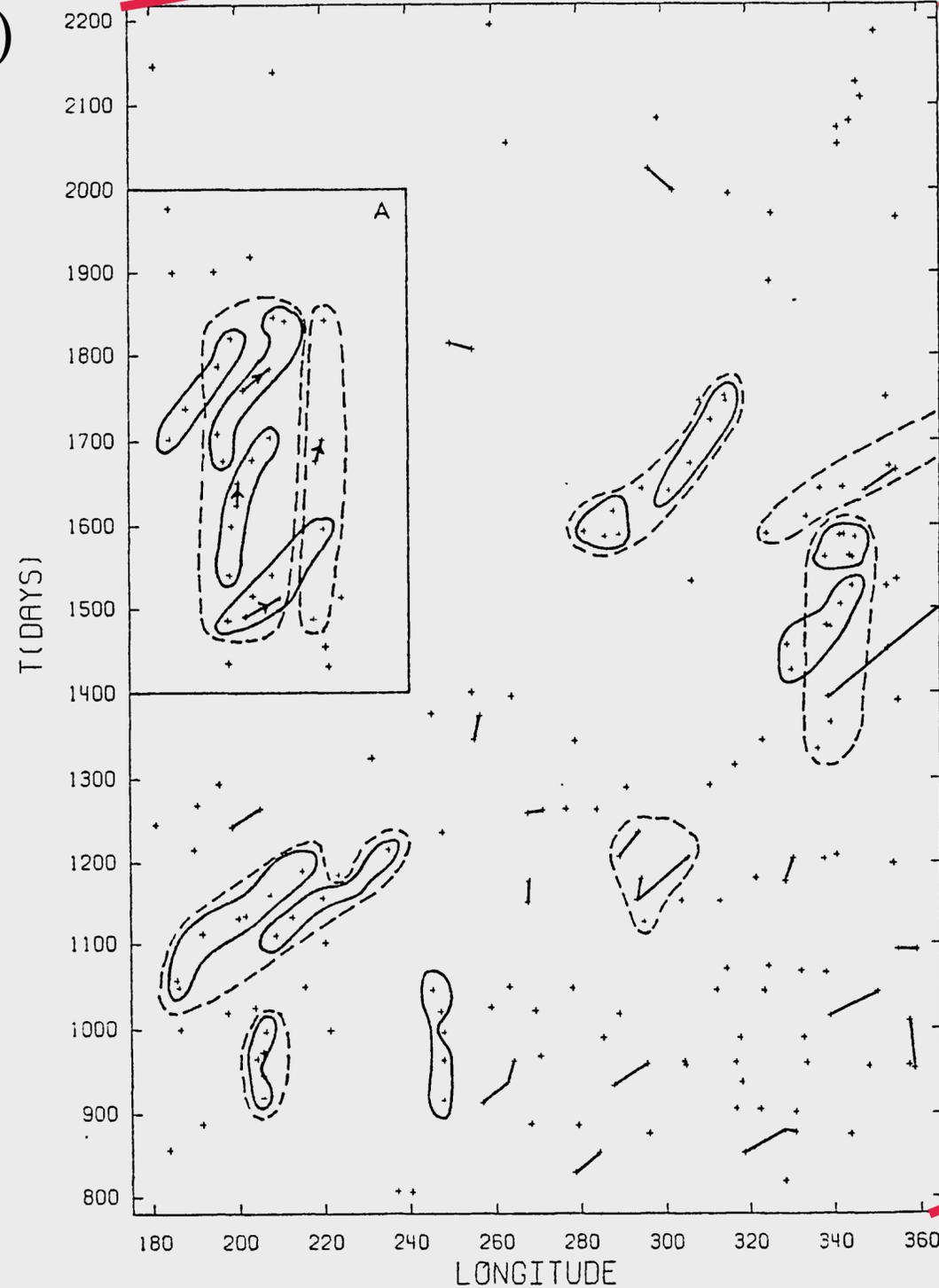
- Etkin bölge yuvalanmasının önemi
- Güneş türü yıldızlarda faküla-leke baskınlığı
- Manyetik akı çıkışı ve taşınımı (FEAT) modeli
- FEAT uygulamaları
 1. Çizgi kesiti değişkenliği
 2. Işıkölçümsel değişkenlik
 3. Astrometrik yalpalama

Güneş'te etkin bölge yuvaları

N. Karapınar'ın konuşması

Bugün 17:38 (24. oturum)

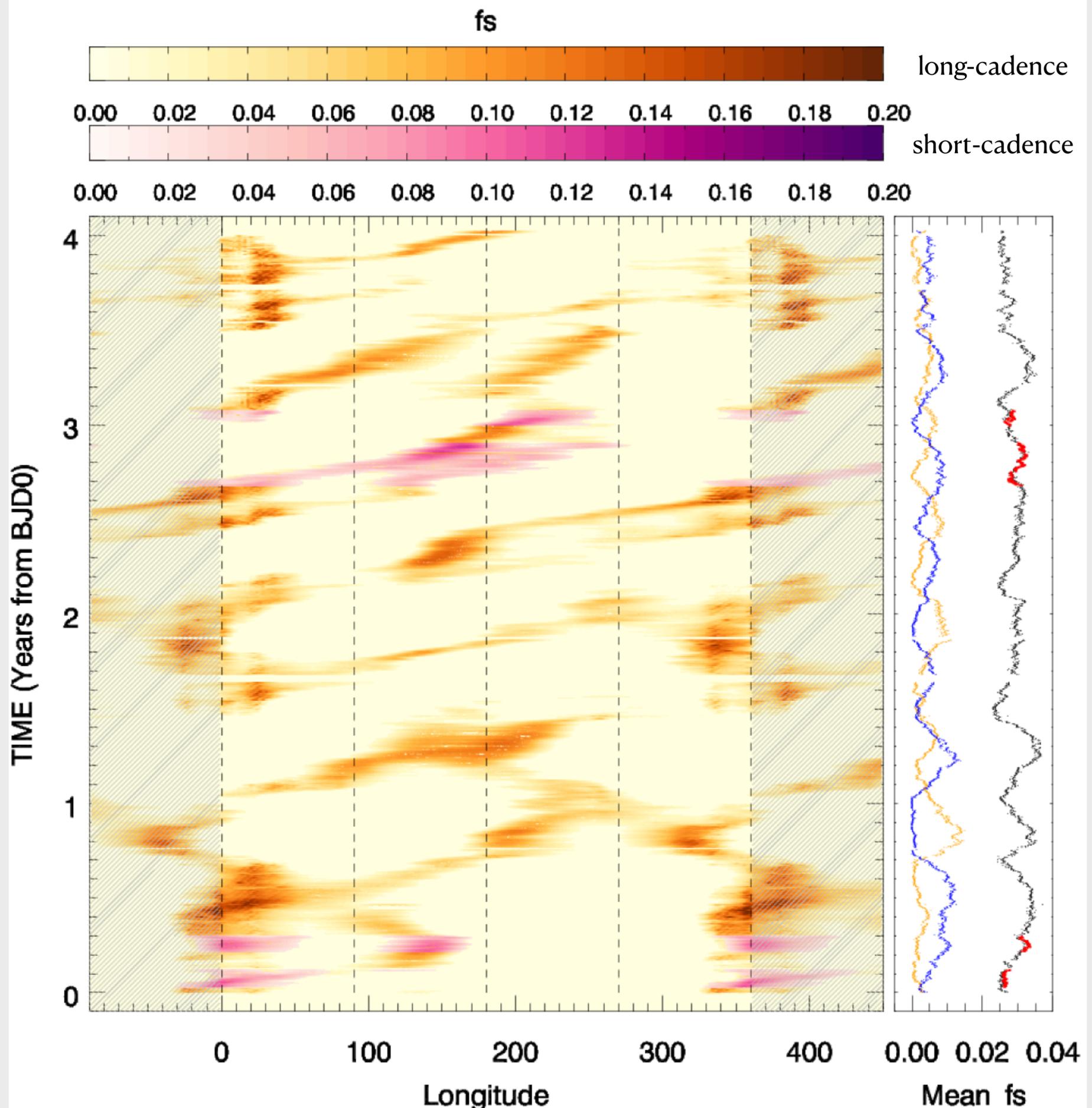
- Yuvalar ve üstyuvalar
- Dif. dönmeyi izler
- Leke gruplarının min. %30'u yuvalarda
- Sonraki ölçümler: %50-80
- Uzlaşma?



Yıldızlarda akı çıkışı

Özavcı, Şenavcı, Işık, vd. (2018 *MNRAS*)

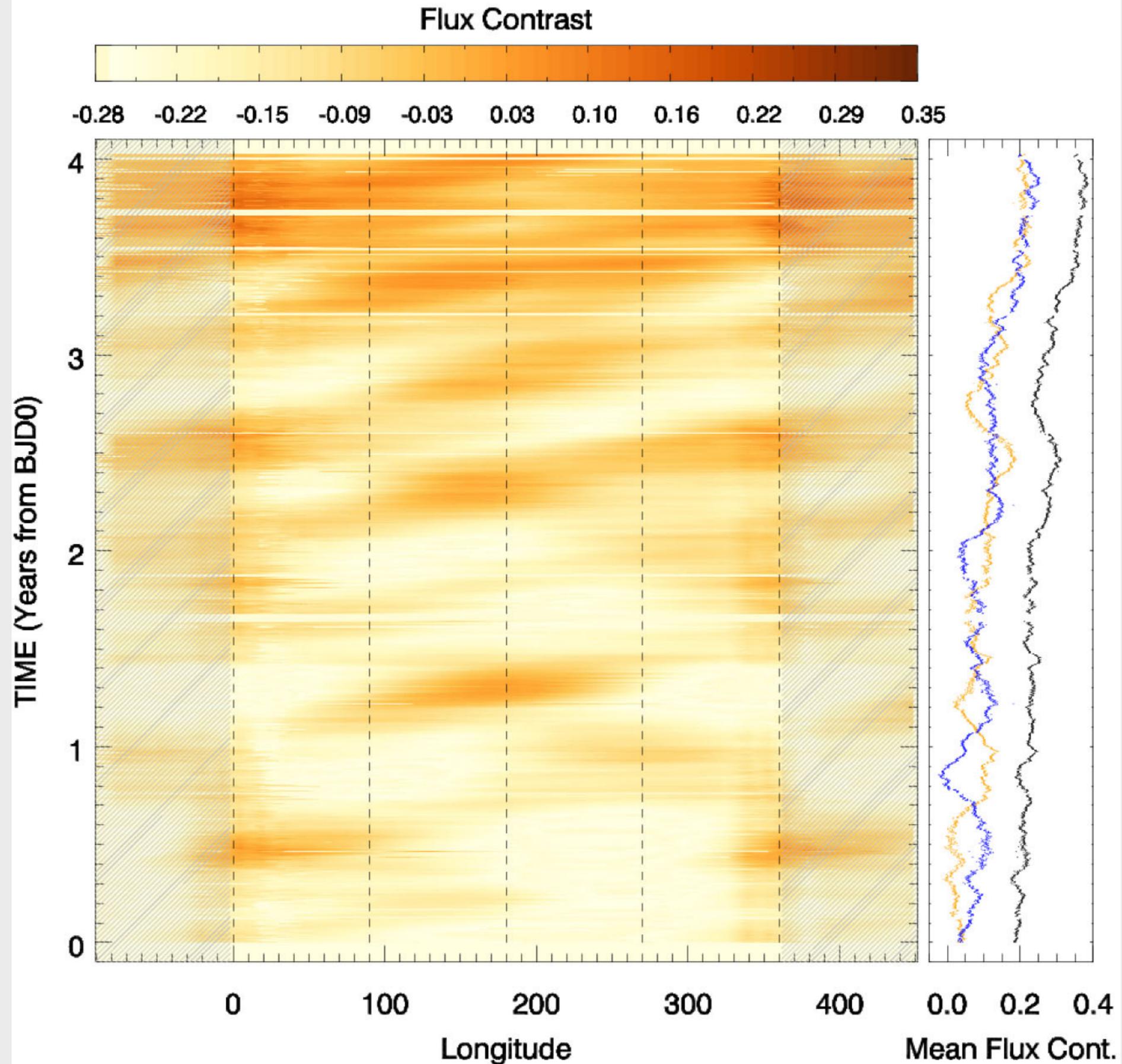
- Dev lekeler mi, yuvalar mı?
- Diferansiyel dönmenin imzası?
- Flip-flop olayı?
- Büyük oranda öbeklenen çıkış?
- KIC 11560447
- K1 türü altdev + geri M türü cüce
- $P_{\text{dönme}} = 0.53$ d
- Kepler verileri + dikine hızlar



Yıldızlarda akı çıkışı

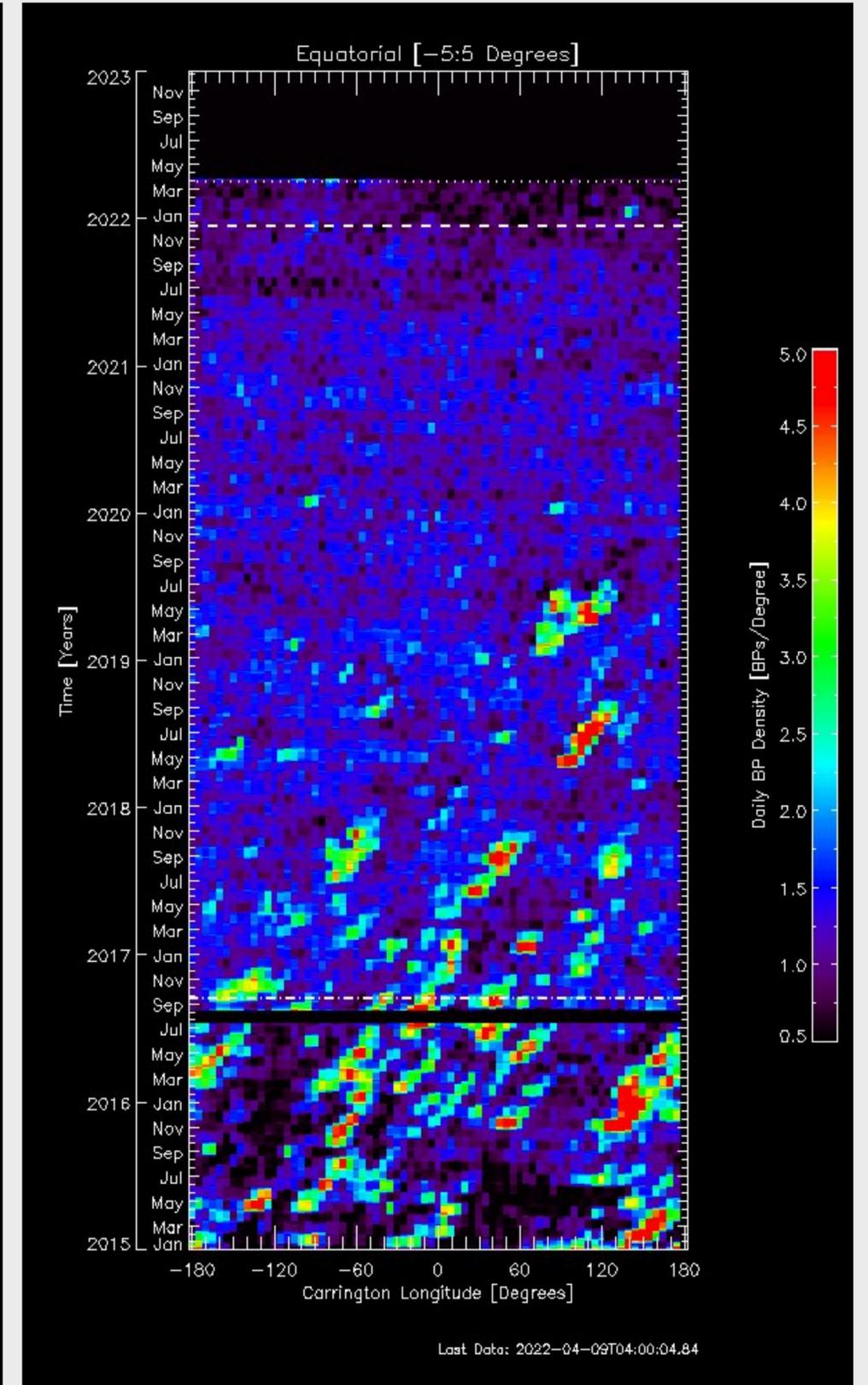
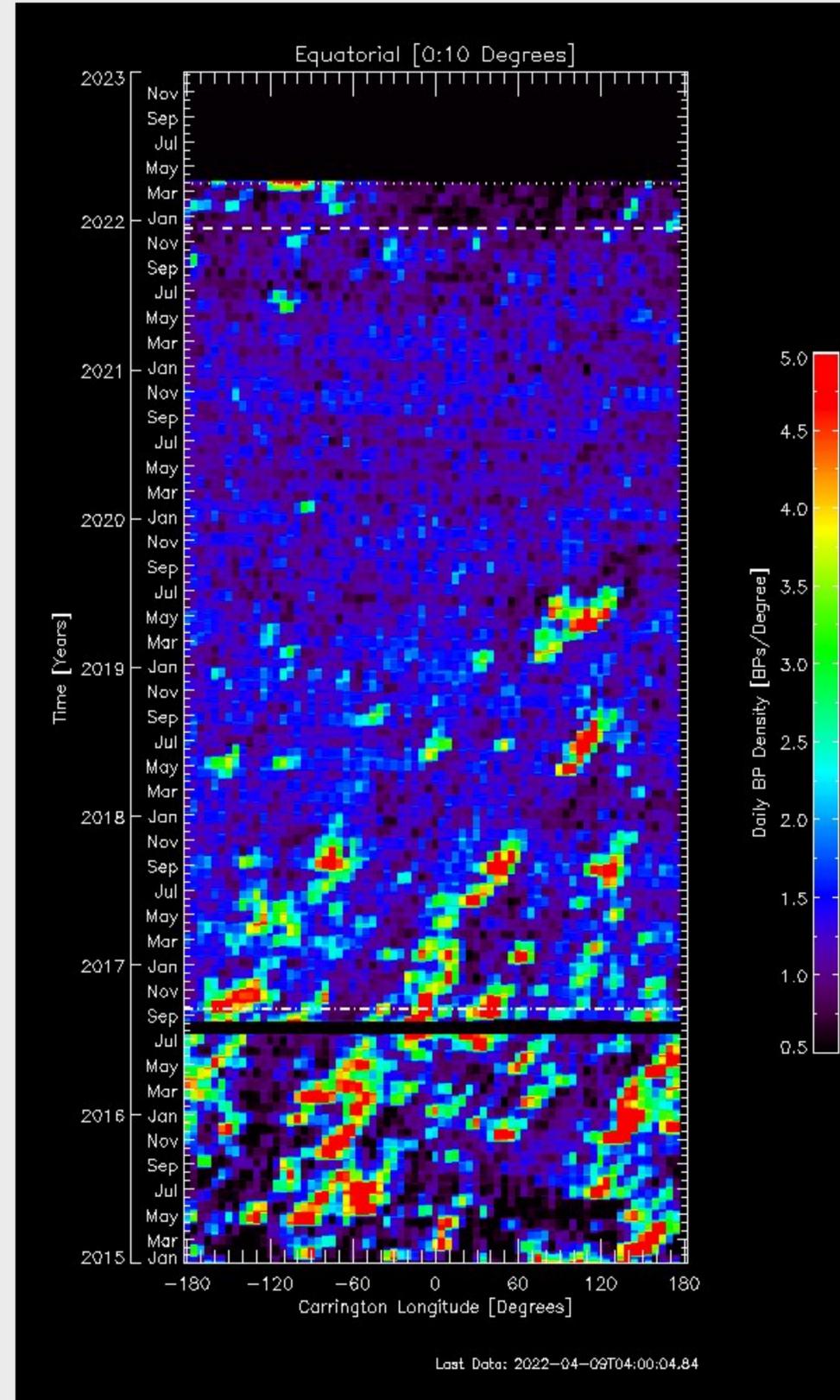
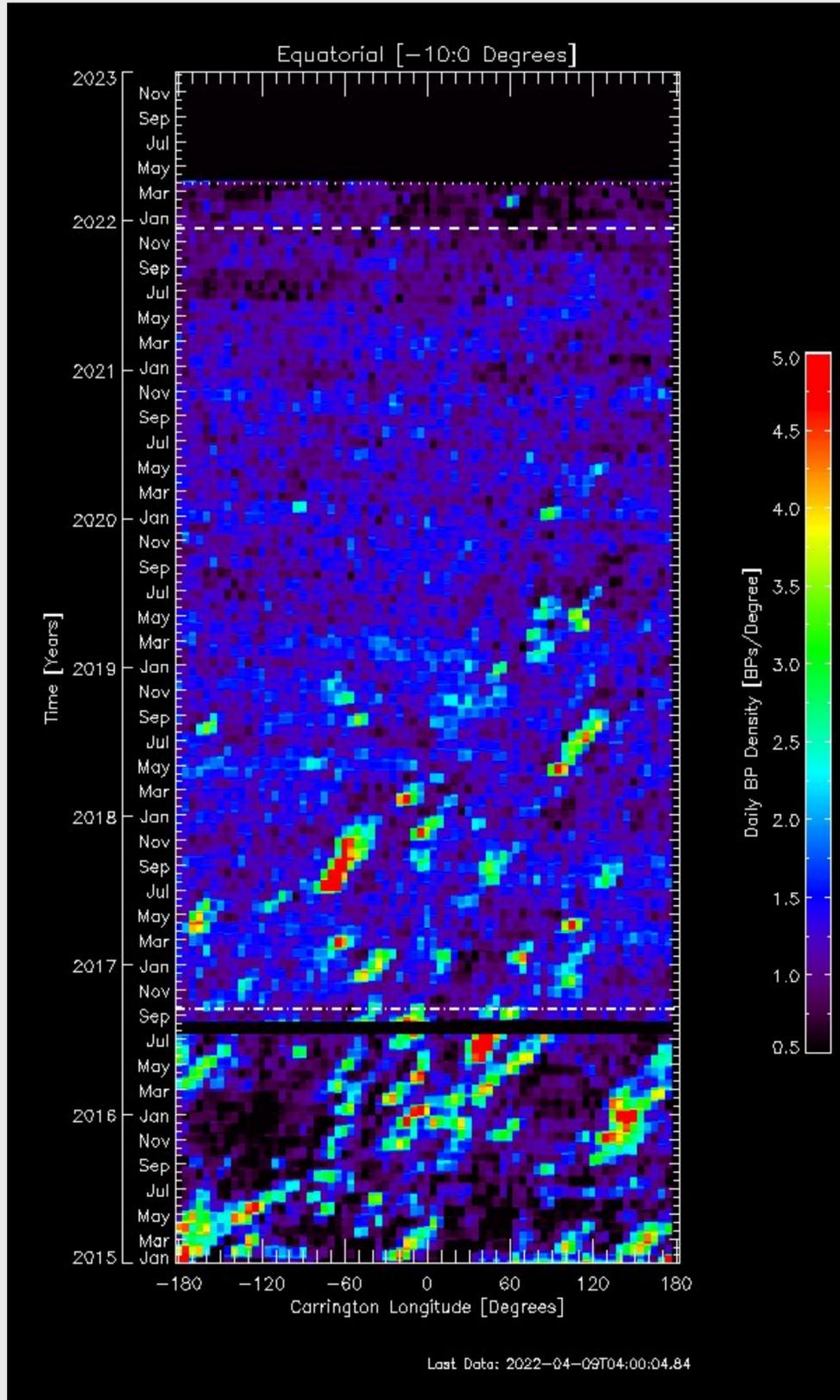
Özavcı, Şenavcı, Işık, vd. (2018 *MNRAS*)

- Dev lekeler mi, yuvalar mı?
- Diferansiyel dönmenin imzası?
- Flip-flop olayı?
- Büyük oranda öbeklenen çıkış?
- KIC 11560447
- K1 türü altdev + geri M türü cüce
- $P_{\text{dönme}} = 0.53 \text{ d}$
- Kepler verileri + dikine hızlar



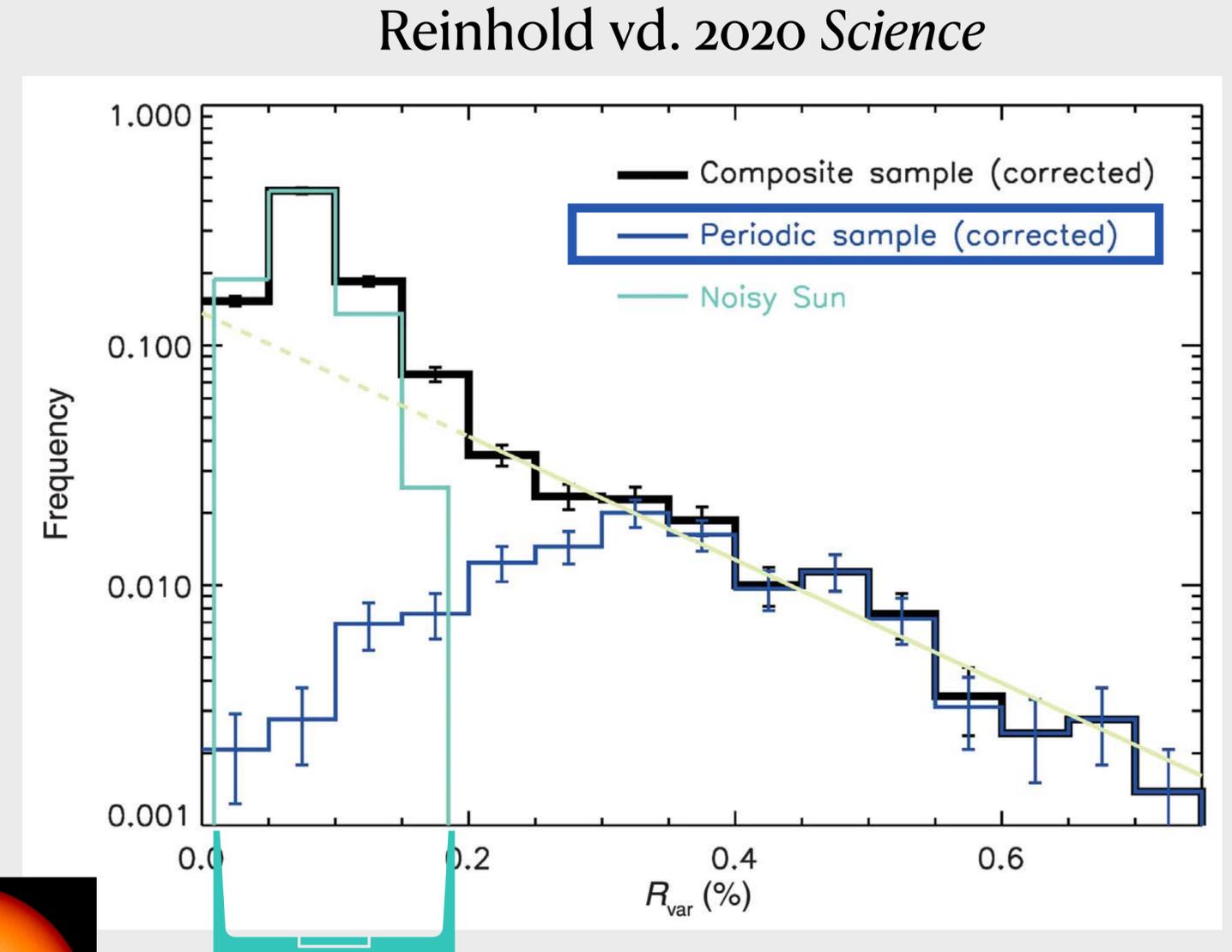
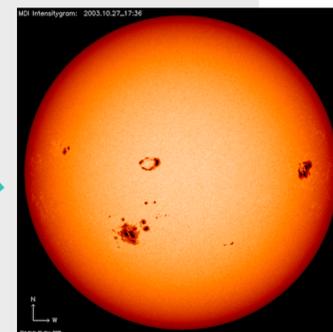
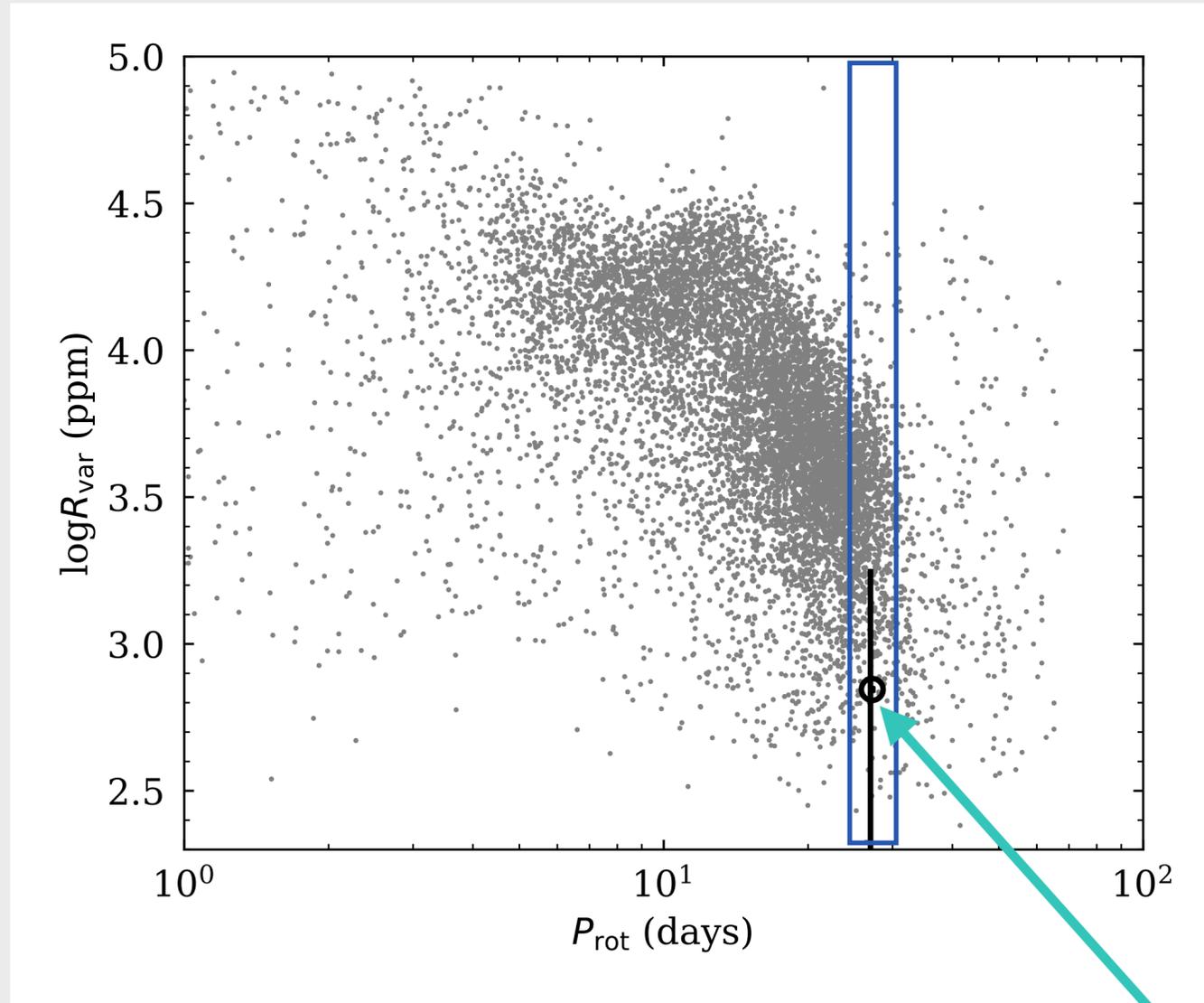
24. çevrimin son yuvaları

Scott McIntosh (*Twitter* paylaşımı)



1. sorun: Güneş türü değişkenlik. Kimin hatası?

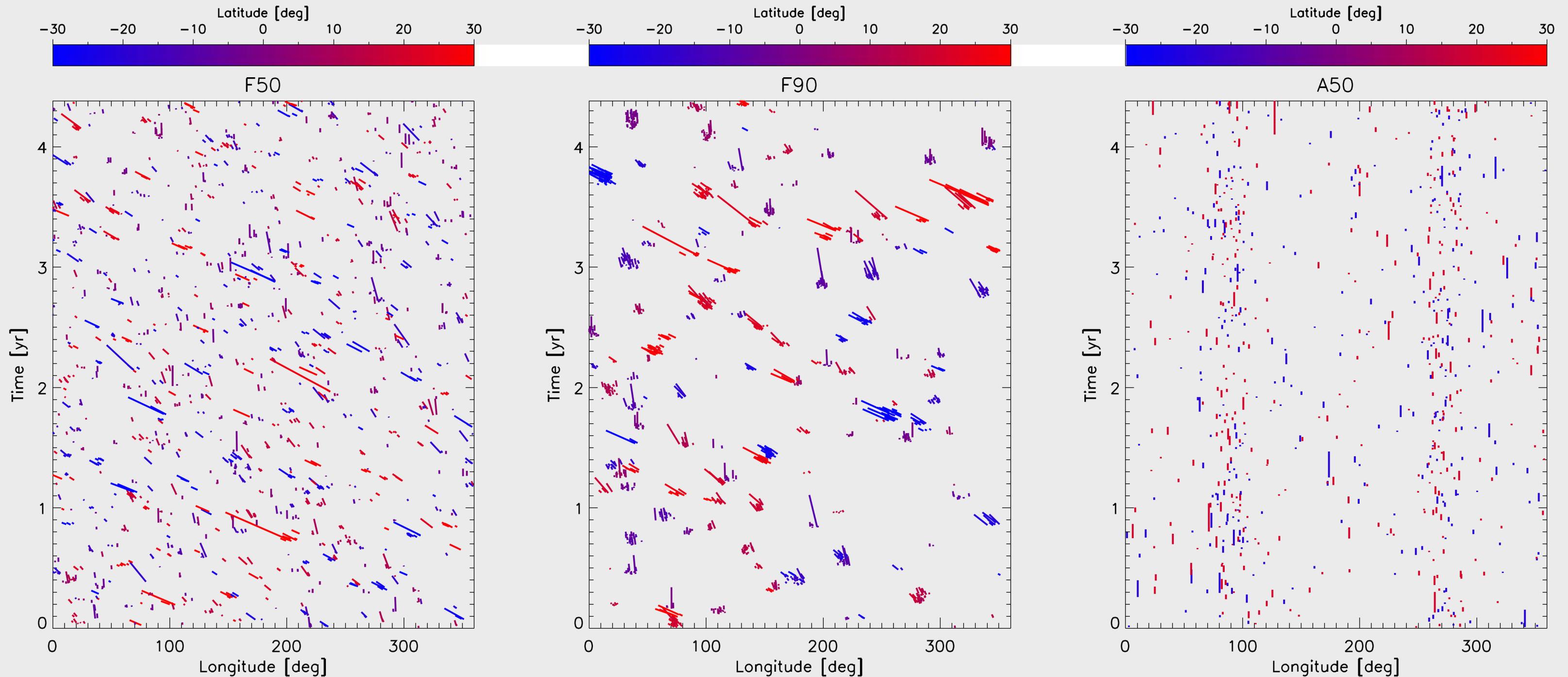
- a) Güneş benzerleri
- b) Güneş
- c) İnsanlar
- d) Hepsi





Amplification of Brightness Variability by Active-region Nesting in Solar-like Stars

Emre Işık^{1,2,3,5} , Alexander I. Shapiro¹ , Sami K. Solanki^{1,4} , and Natalie A. Krivova¹ 



1. çözüm: Parlaklık değişkenliği, etkin bölge yuvalanması ile artar

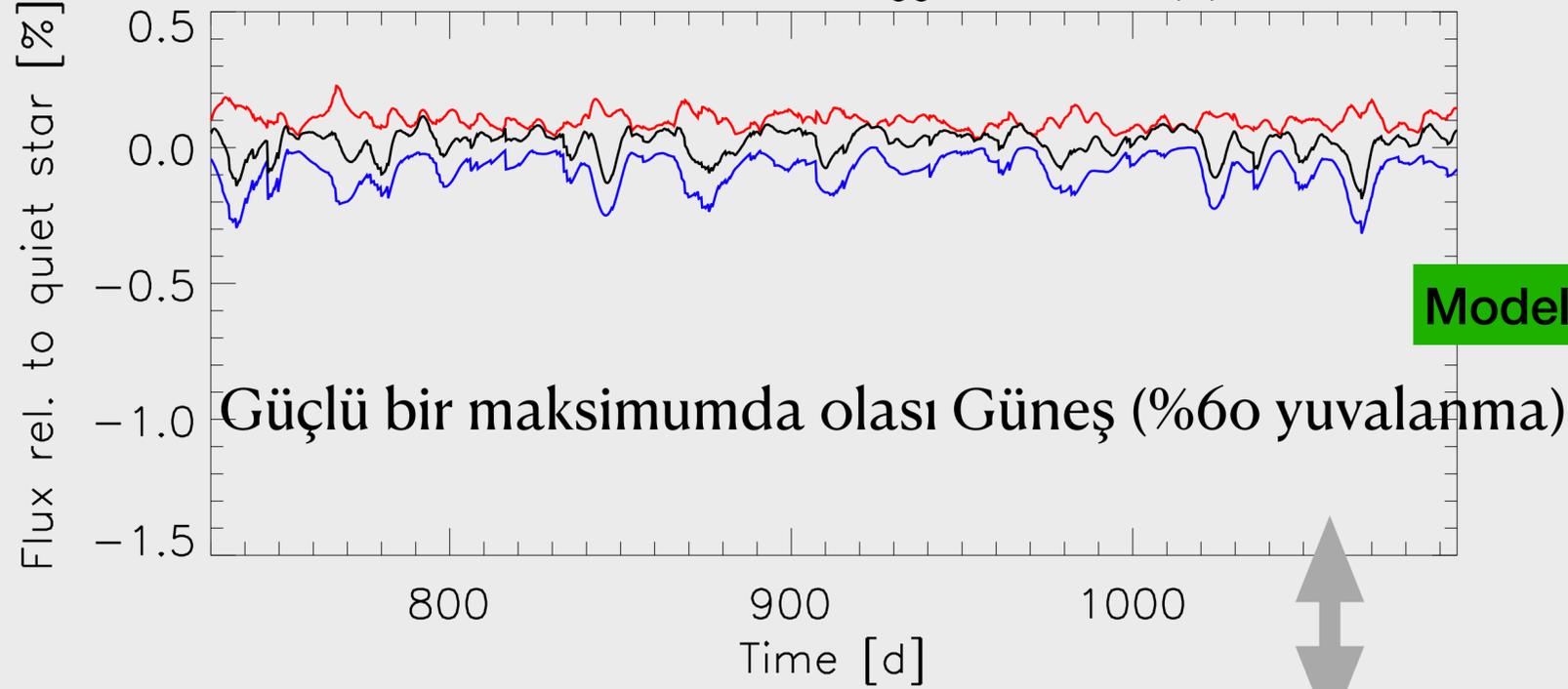
Işık vd. 2020 *ApJL*

Faculae — (brightening)

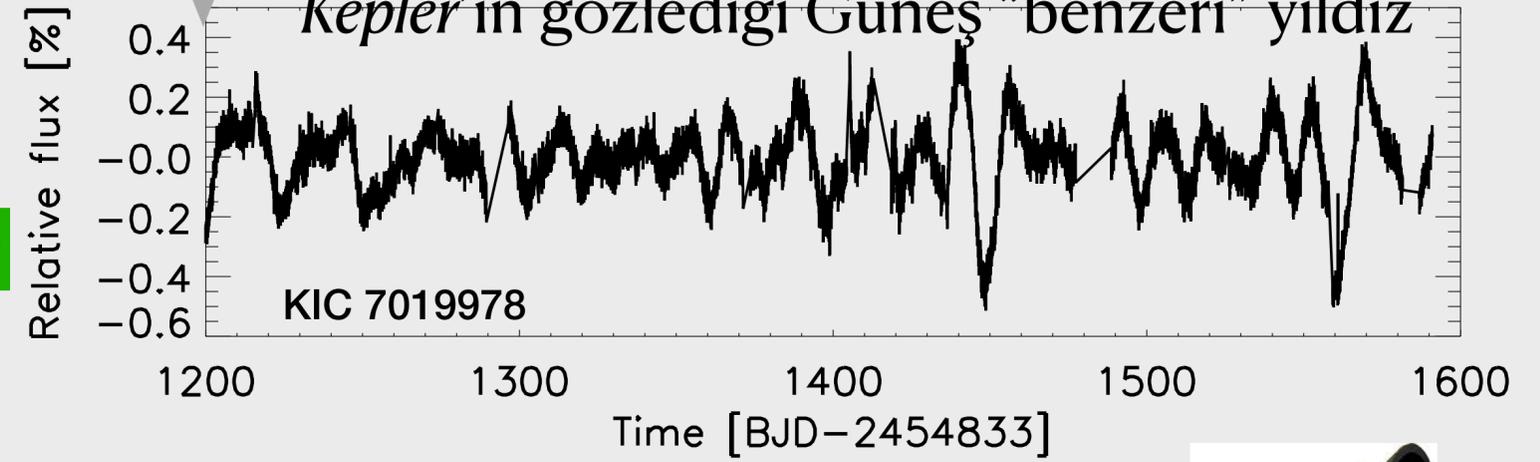
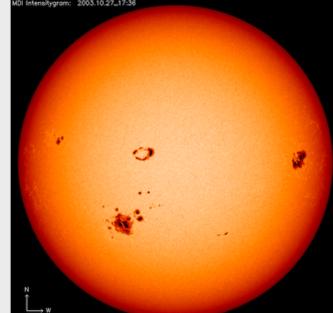
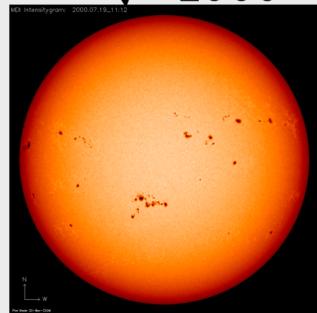
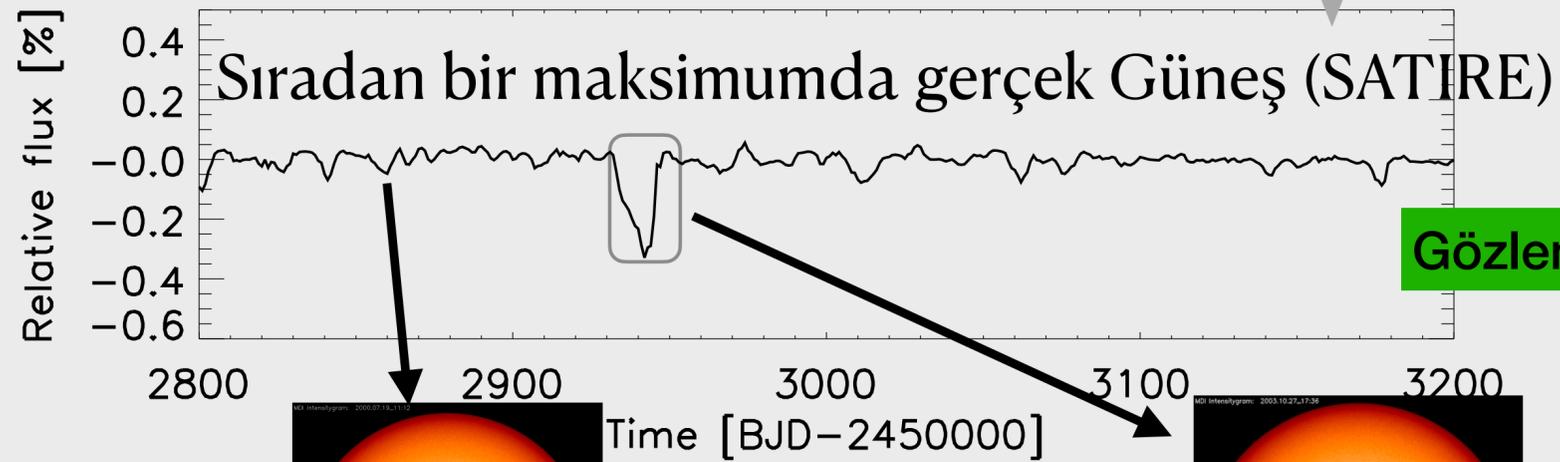
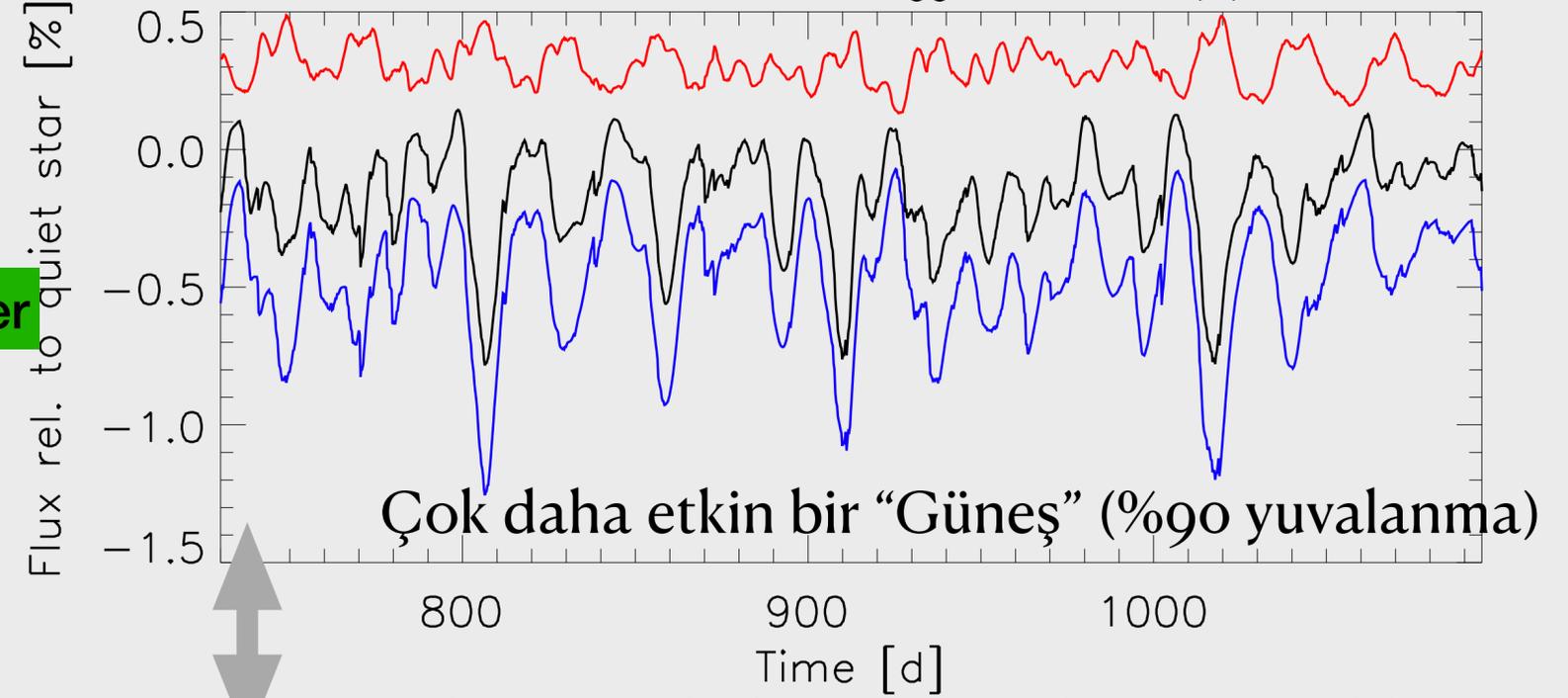
F+S —

Spots — (darkening)

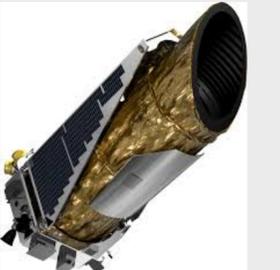
$\langle S \rangle = 0.19$, F60, $R_{90} = 2030$ ppm



$\langle S \rangle = 0.23$, F90, $R_{90} = 7637$ ppm

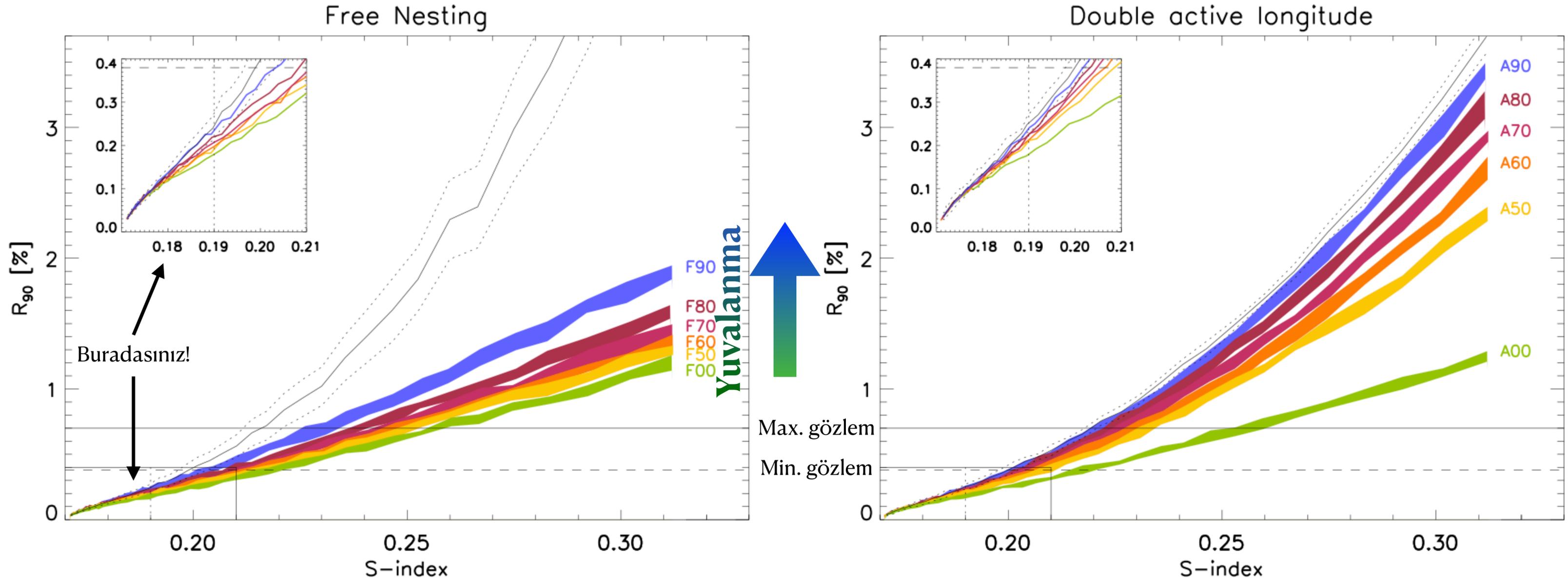


Dönme dönemi: 26 gün!!!

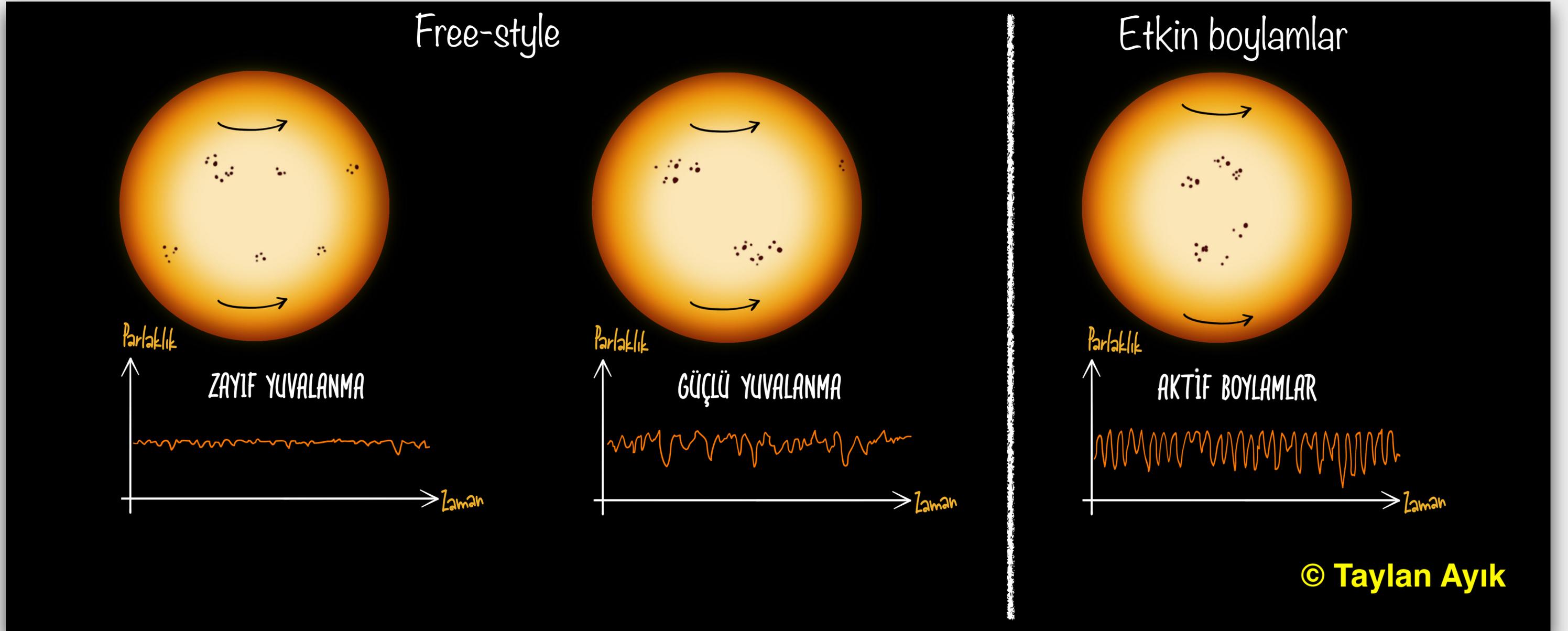


Değişkenliği yuvalanma ile artırmak

Işık vd. 2020 *ApJL*



Yuvalanma, ışık eğrilerini nasıl etkiler?



Basın
bildirileri:

bm.tau.edu.tr/gunes-benzeri-yildizlar-neden-gunes-ten-daha-degisken

bogazicindebilim.boun.edu.tr/content/gunes-benzeri-yildizlari-gunesten-ayiran-nedir

www.mps.mpg.de/starspots-revving-up-the-variability-of-solar-like-stars

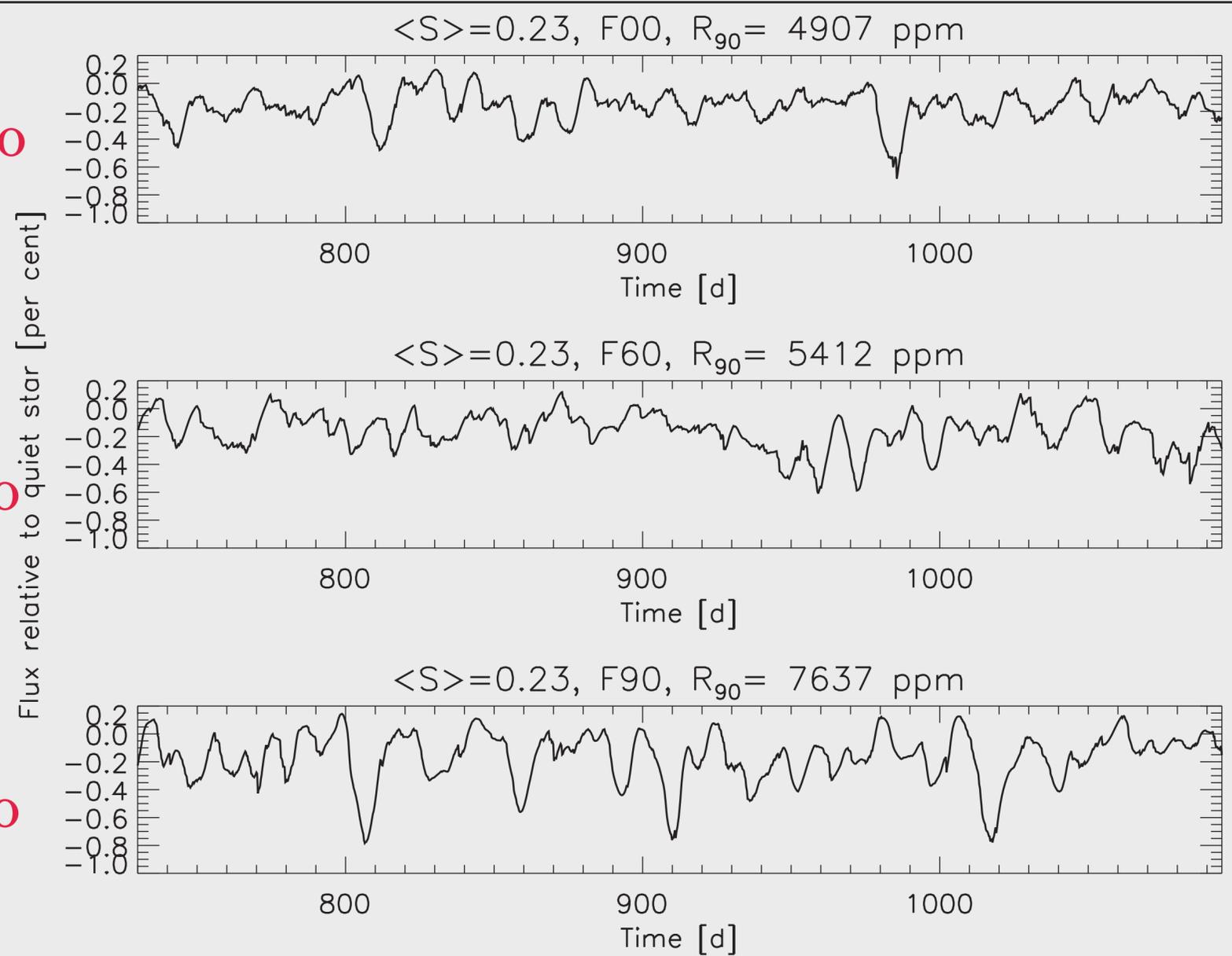
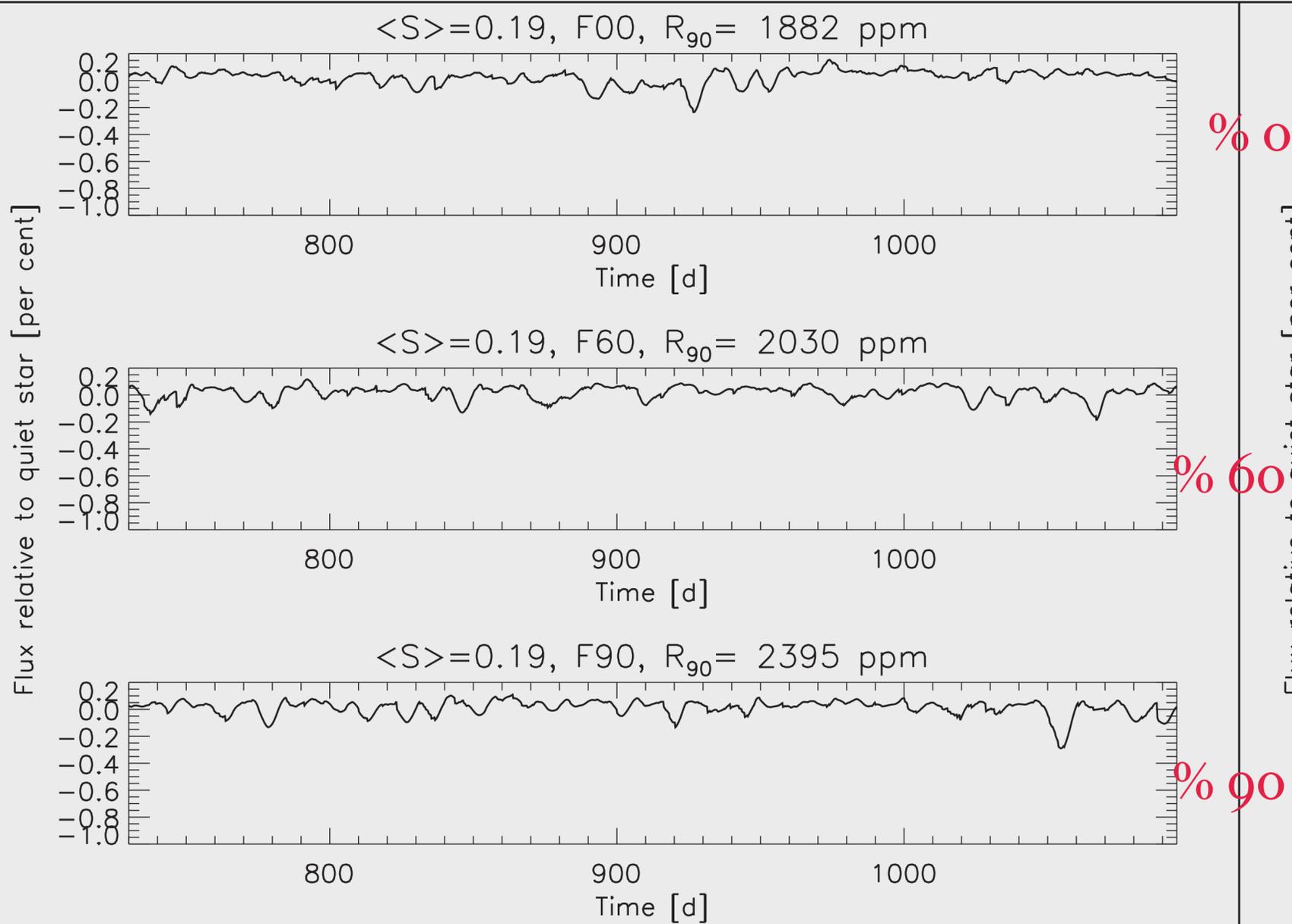
Özgür yuvalanma — ışık eğrileri

Işık vd. 2020 *ApJL*

Yuvalanma oranı

Çok etkin Güneş (etkin olmayan yıldız) $\langle S \rangle = 0.19$

Orta etkinlikte yıldız $\langle S \rangle = 0.23$



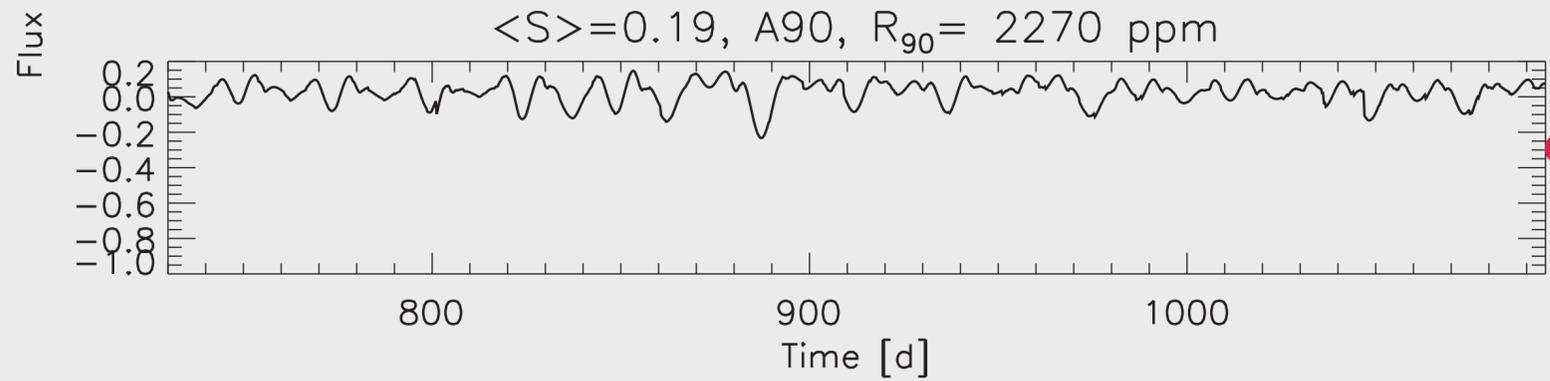
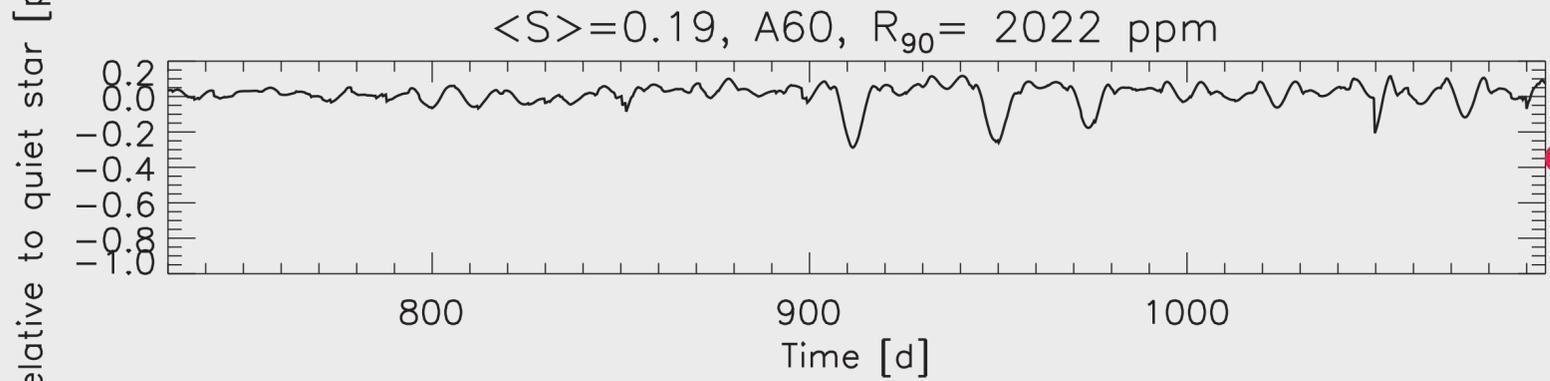
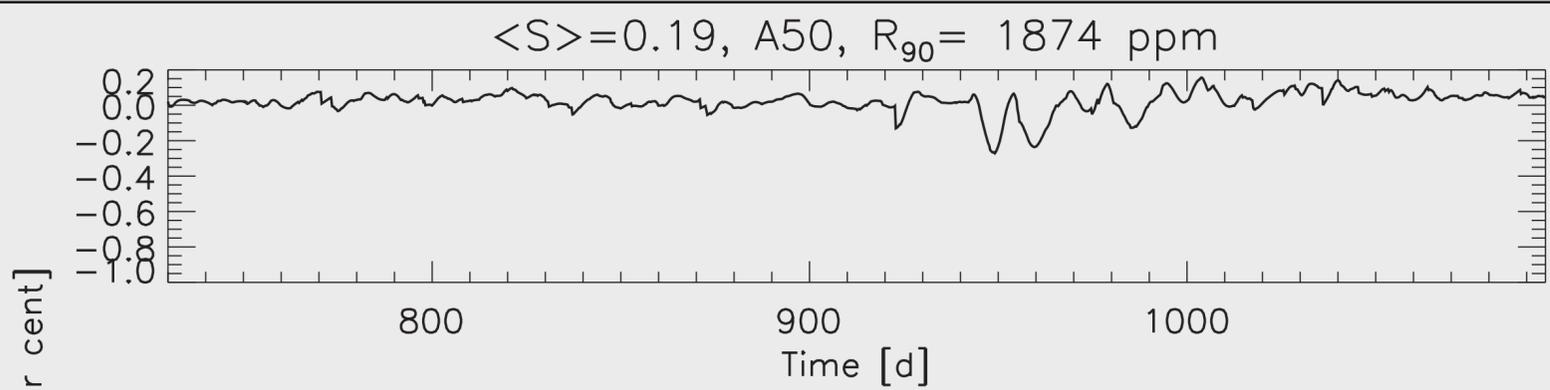
Etkin boylam yuvalanması — ışık eğrileri

Işık vd. 2020 *ApJL*

Yuvalanma oranı

Çok etkin Güneş (etkin olmayan yıldız) $\langle S \rangle = 0.19$

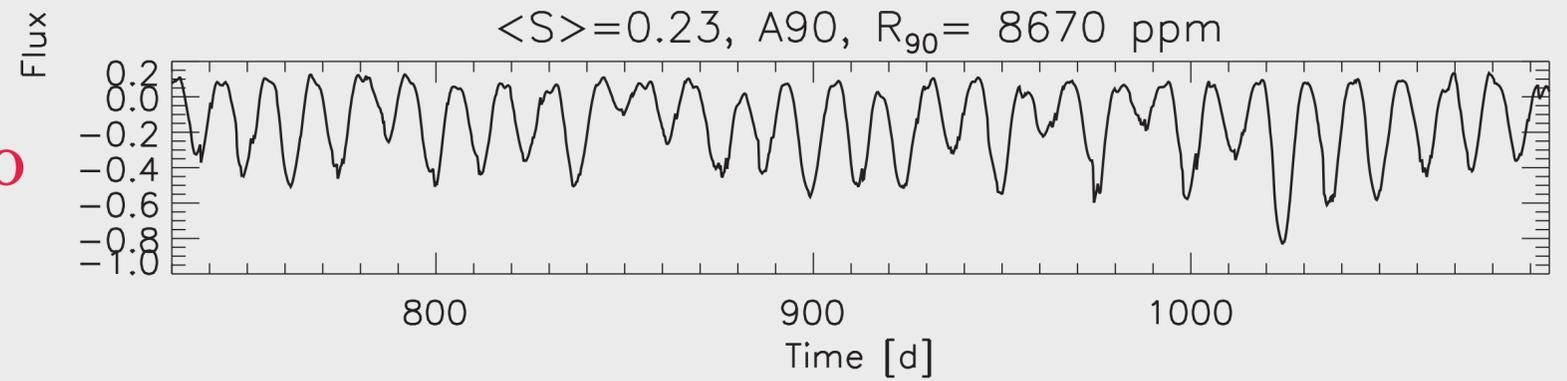
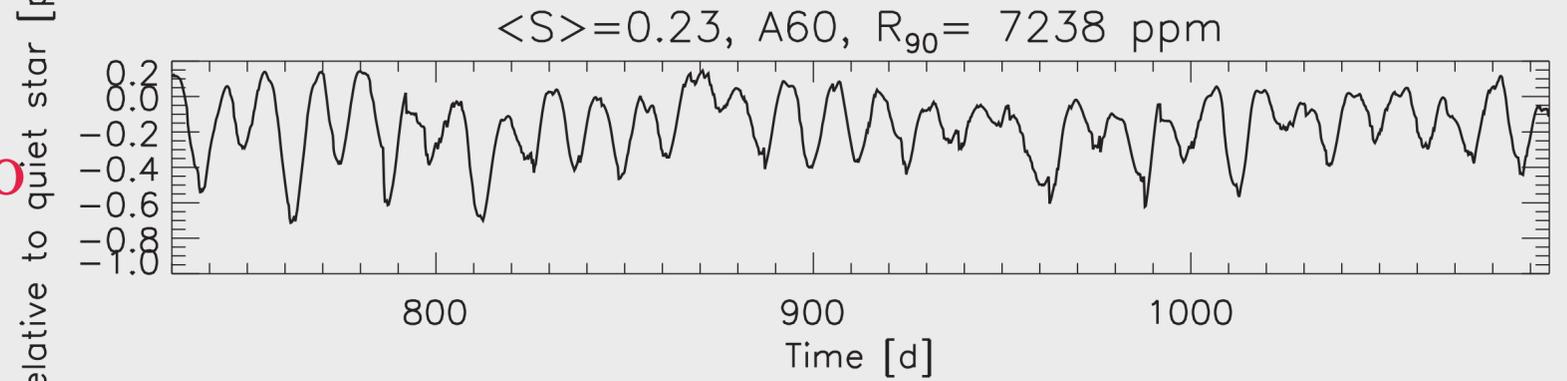
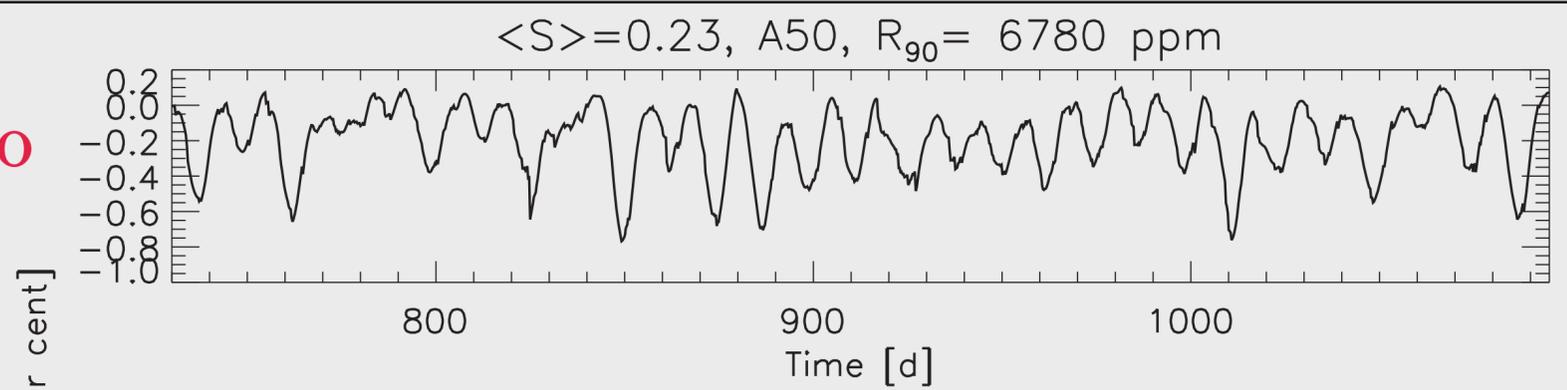
Orta etkinlikte yıldız $\langle S \rangle = 0.23$



% 0

% 60

% 90



Akış

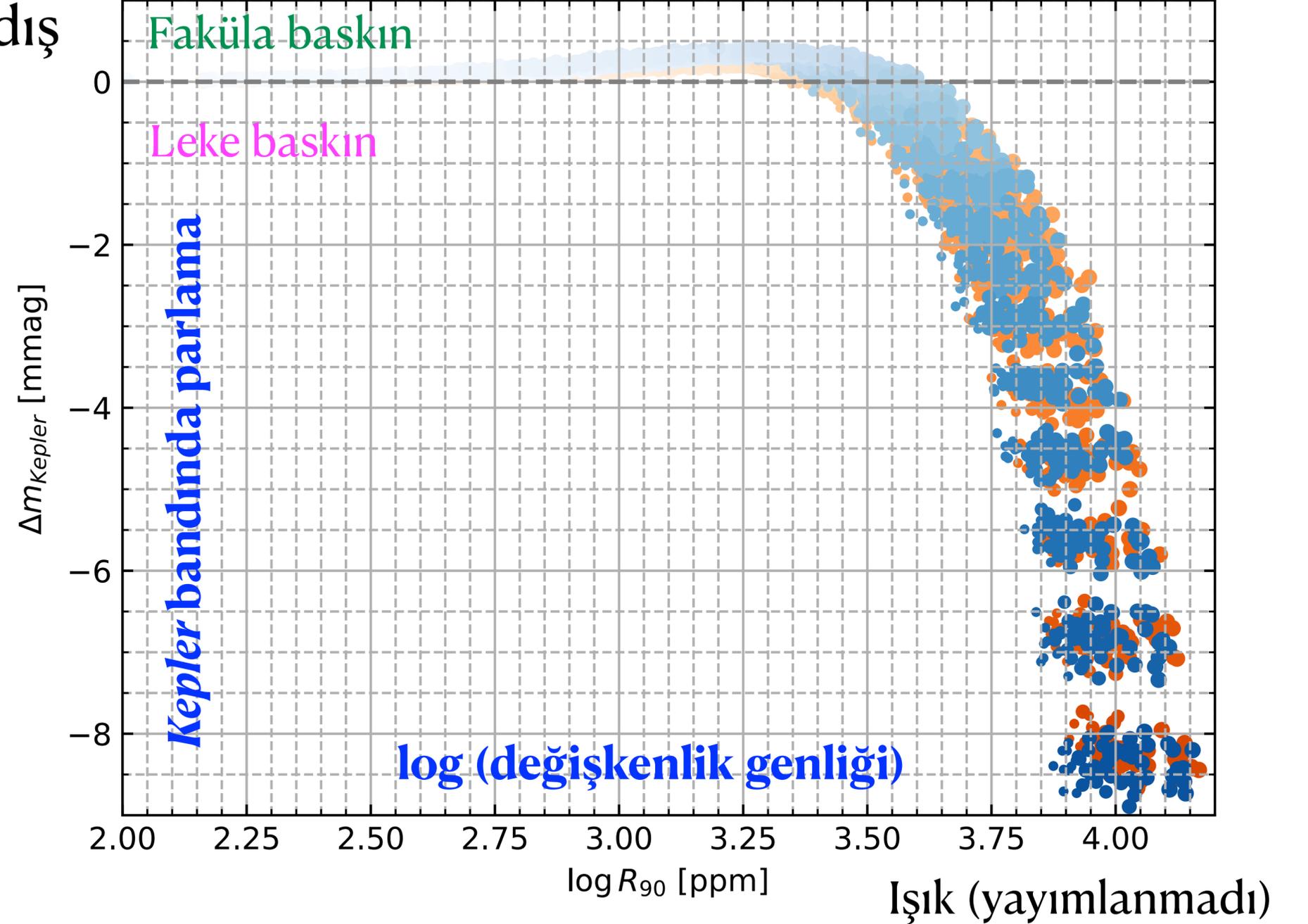
- Etkin bölge yuvalanmasının önemi
- Güneş türü yıldızlarda faküla-leke baskınlığı
- Manyetik akı çıkışı ve taşınımı (FEAT) modeli
- FEAT uygulamaları
 1. Çizgi kesiti değişkenliği
 2. Işıkölçümsel değişkenlik
 3. Astrometrik yalpalama

2. sorun: Neden daha çok/az etkin güneşlerde lekeler/fakülalar baskındır?

Oyuncak modelle denemeler

- Gözlenen Güneş bağıntılarından dış kestirim
- Işık vd. 2020 modeli kullanıldı
- $i = 90^\circ$
- $i = 57^\circ$
- $\langle S \rangle = 0.16 - 0.24$
- Nokta büyüklüğü:
 $0.0 < \text{yuvalanma_oranı} < 0.9$
- S -ölçeği ve yuvalanma başına 10 rastgele deneme

Işık vd. (2020) yapay ışık eğrilerinden “ölçümler”

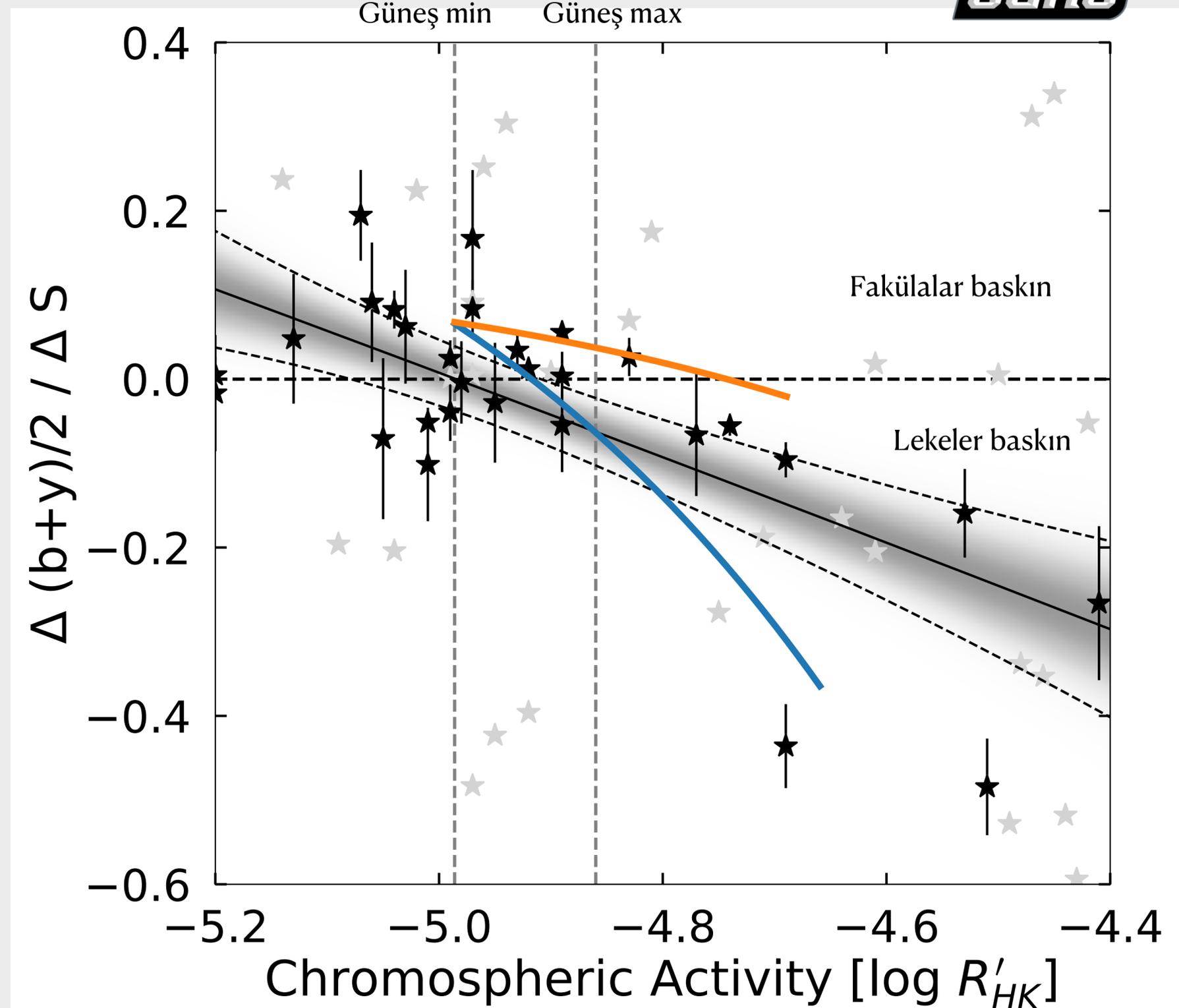


2. çözüm: manyetik maça fakülalar yenilir, lekeler kazanır!



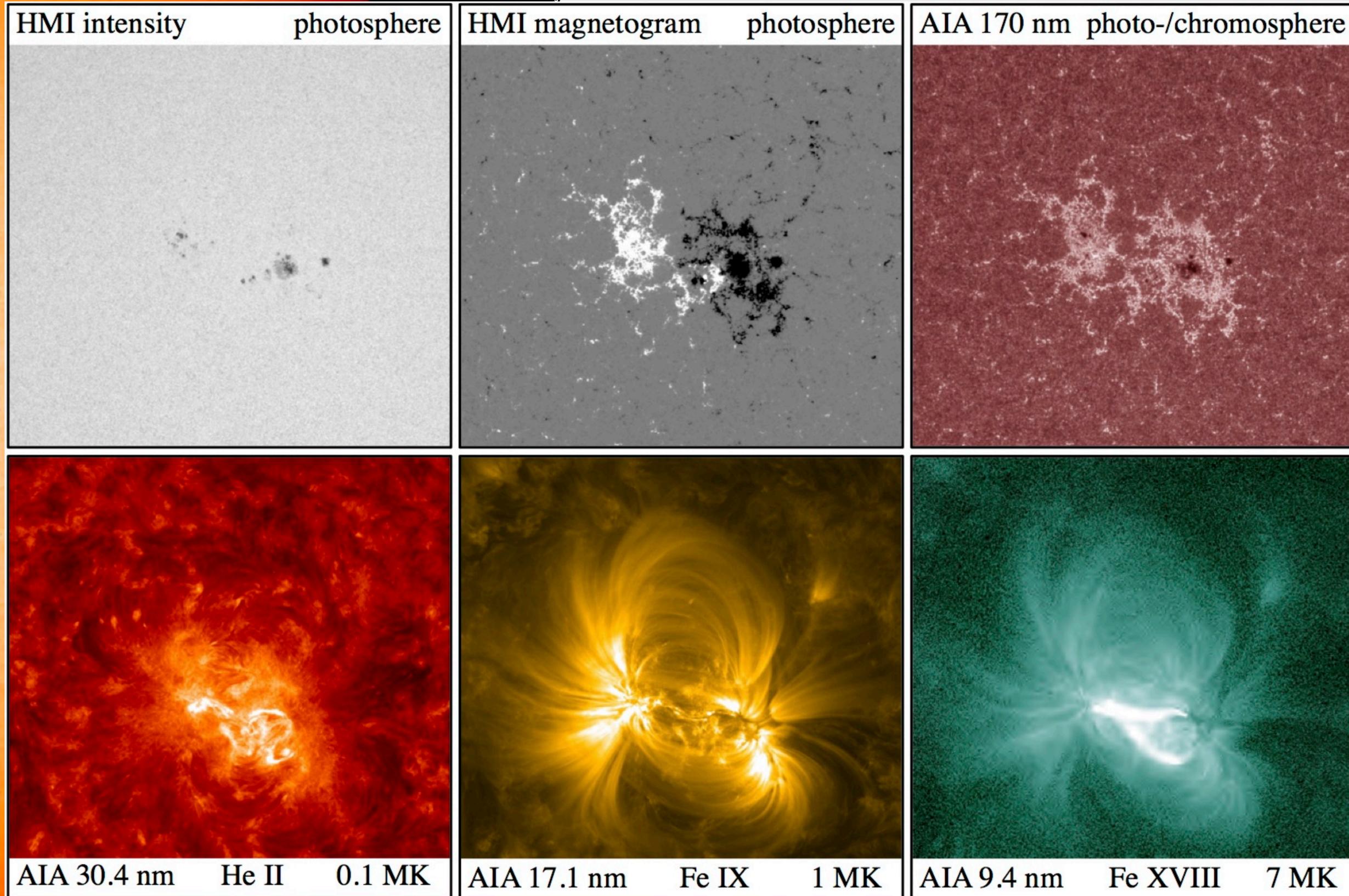
Nèmec, Shapiro, Işık vd. 2022 *ApJL*

- Yüzey akı taşınım modeli (Işık vd. 2018)
- 10 yıl ölçeğinde etkinlik artışı (ΔS) başına parlama
 - İleri model — $i = 0^\circ$
 - İleri model — $i = 90^\circ$
- ★ Lowell-Fairborn örnekleme (Radick vd. 2018)
- ★ $\{ T_{eff} \in T_{eff,\odot} \pm 200 \text{ K} \}$
 $\cup \{ \text{düşük parlama hatası} (< 0.1) \}$



Mekanizma:

Etkin bölge ağları arasında akı iptali



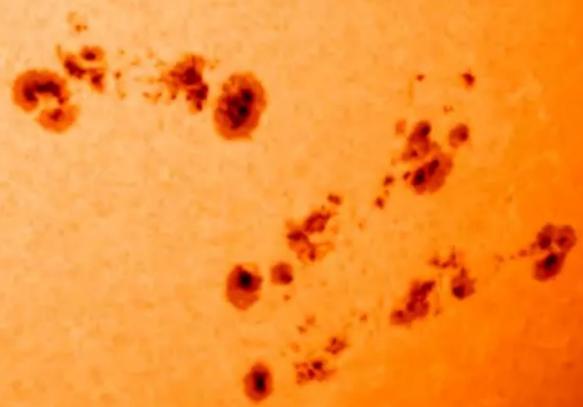
Shapiro vd. 2019

NASA/SDO

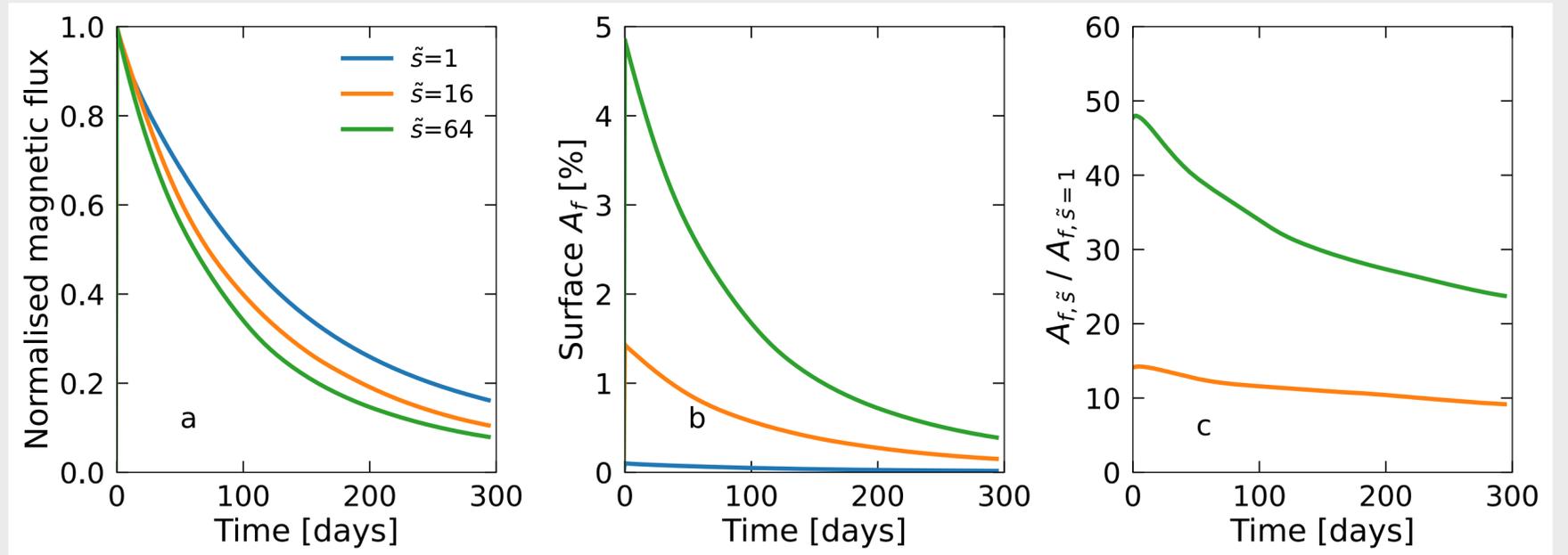
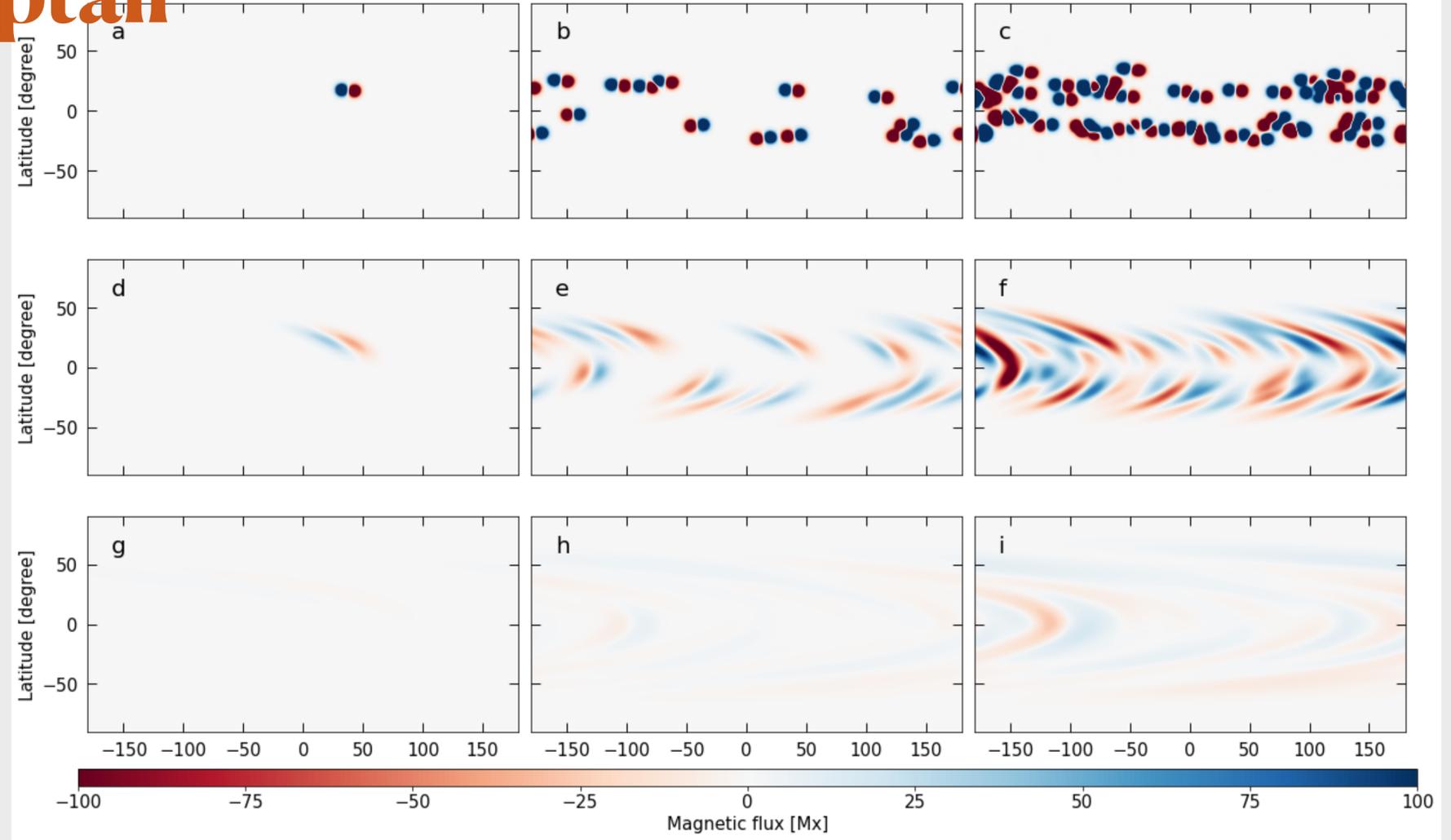
Etkin bölge ağları arasında akı iptali

Nèmec, Shapiro, Işık vd. 2022 *ApJL*

- EB ağı alanı \gg leke alanı
- \Rightarrow Yüzeye çıkışta p (ağda akı sıfırlanması) \gg p (leke alanında akı sıfırlanması)
- \Rightarrow Daha etkin yıldızlarda lekeler daha baskın



Animasyonlar için makaleye bkz.



Animasyonlar için makaleye bkz.

Akış

- Etkin bölge yuvalanmasının önemi
- Güneş türü yıldızlarda faküla-leke baskınlığı
- **Manyetik akı çıkışı ve taşınımı (FEAT) modeli**
- FEAT uygulamaları
 1. Çizgi kesiti değişkenliği
 2. Işıkölçümsel değişkenlik
 3. Astrometrik yalpalama

3. soru(n)

Güneş türü etkinlik desenleri dönme hızı (~yaş) ile nasıl değişir?

A&A 620, A177 (2018)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833393>
© ESO 2018

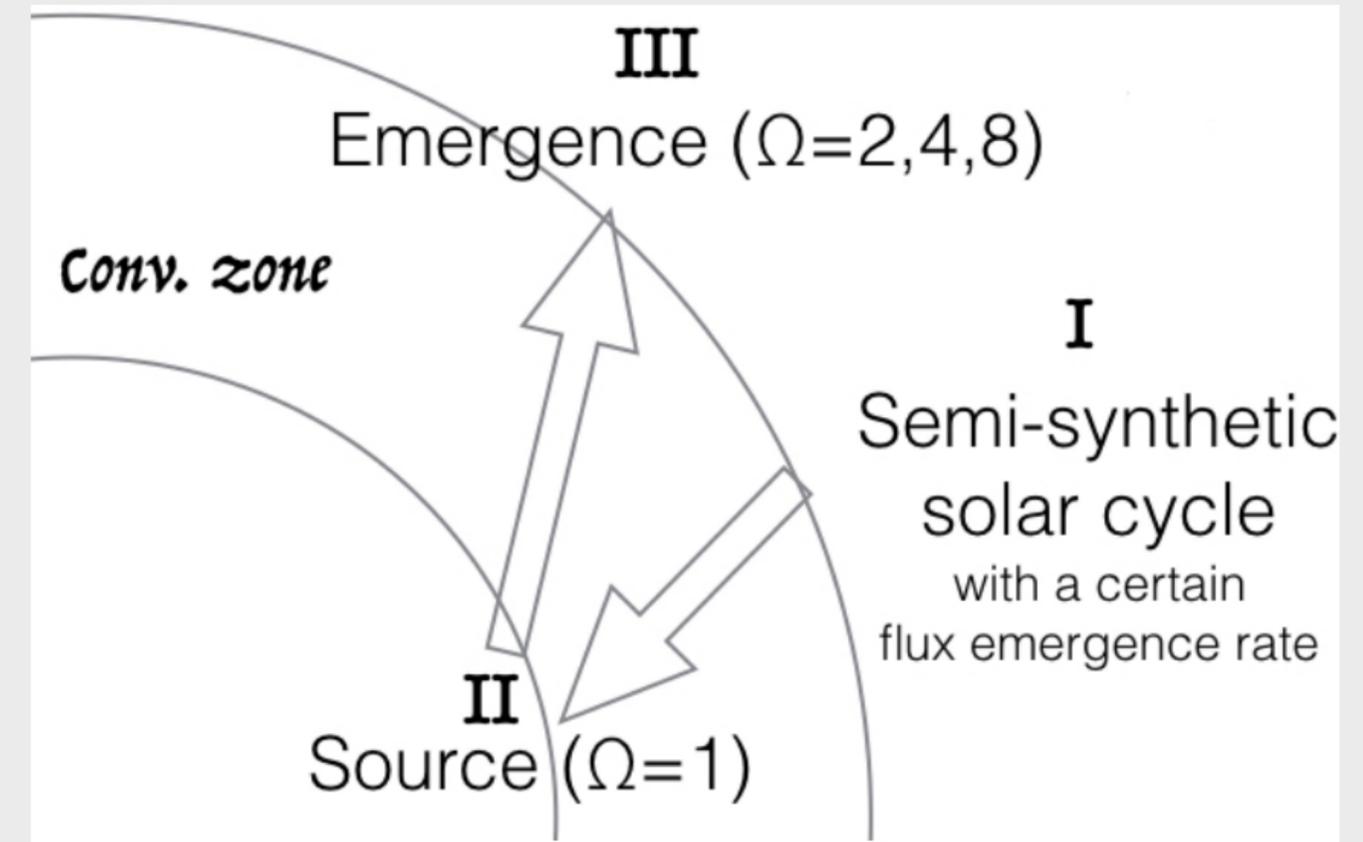
Astronomy
&
Astrophysics

Forward modelling of brightness variations in Sun-like stars

I. Emergence and surface transport of magnetic flux

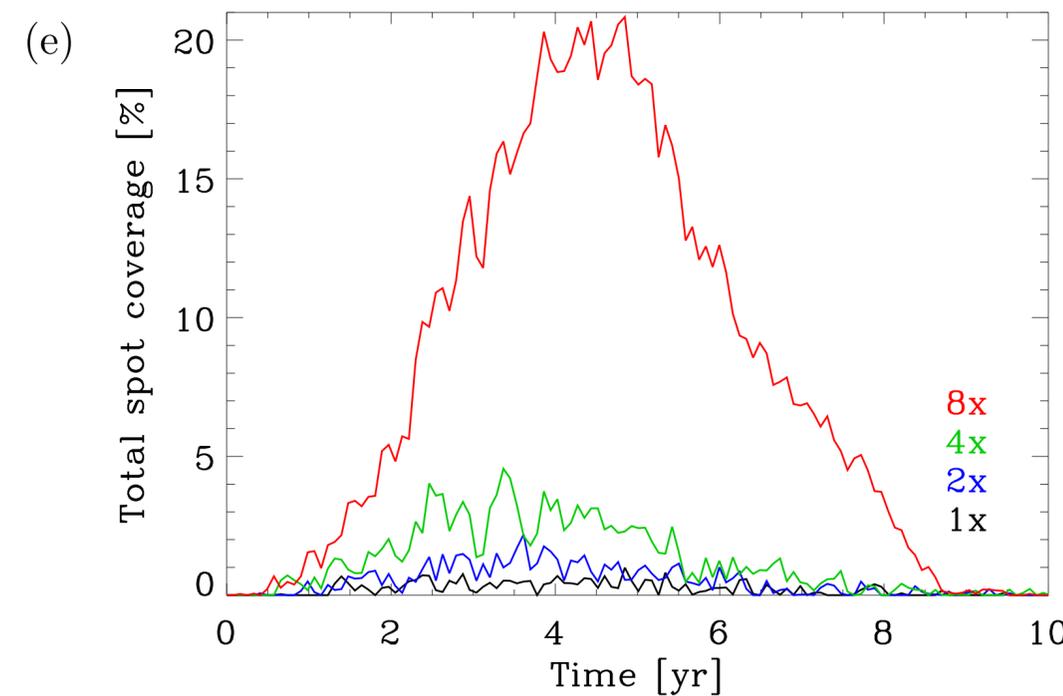
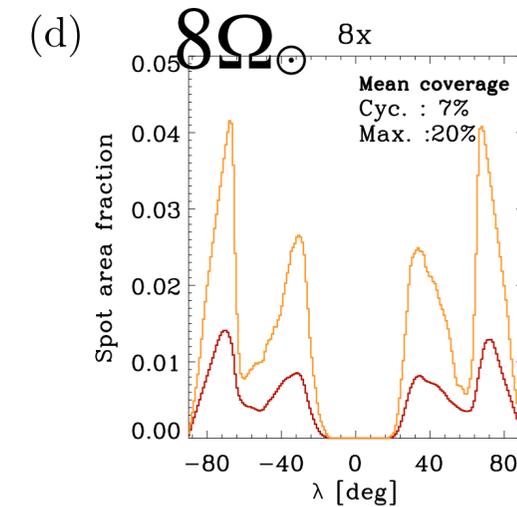
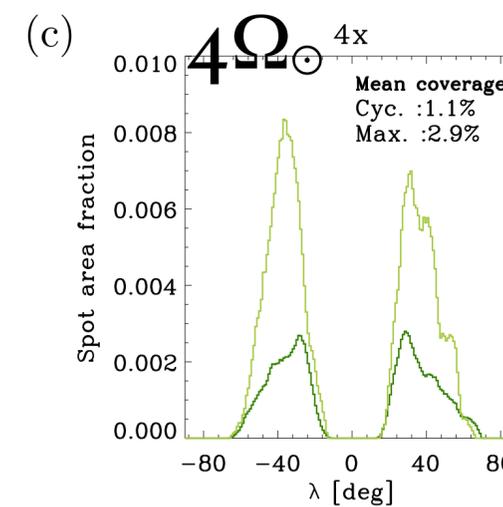
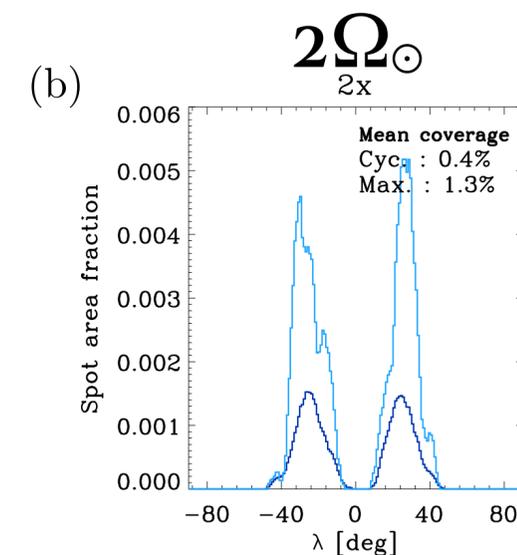
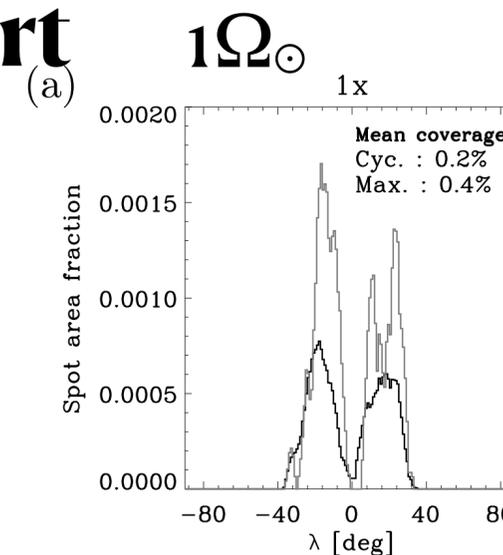
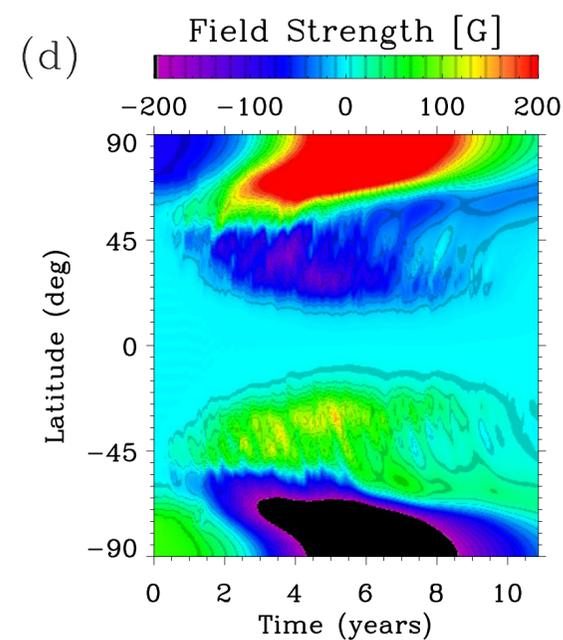
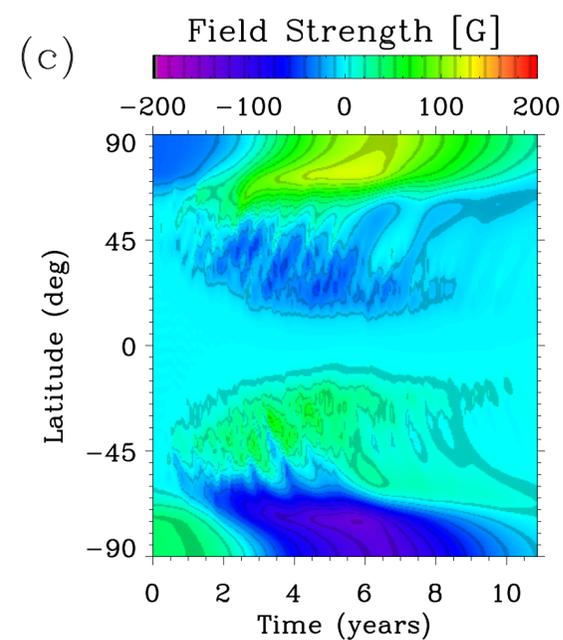
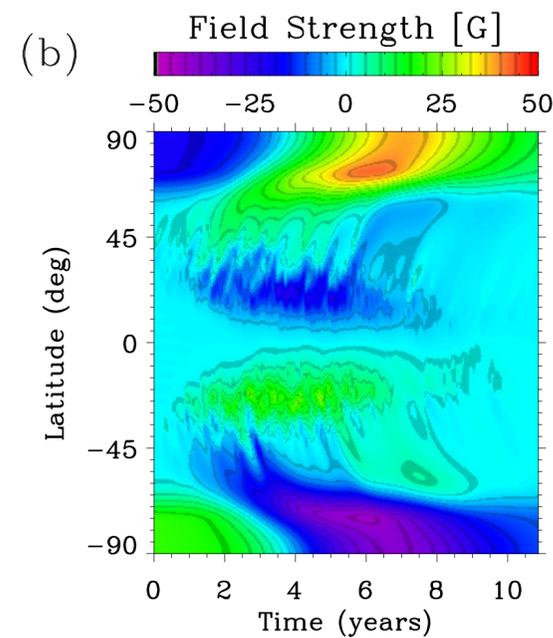
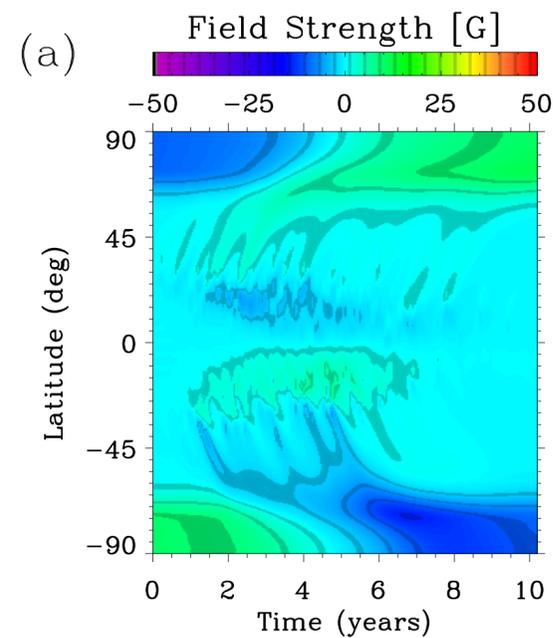
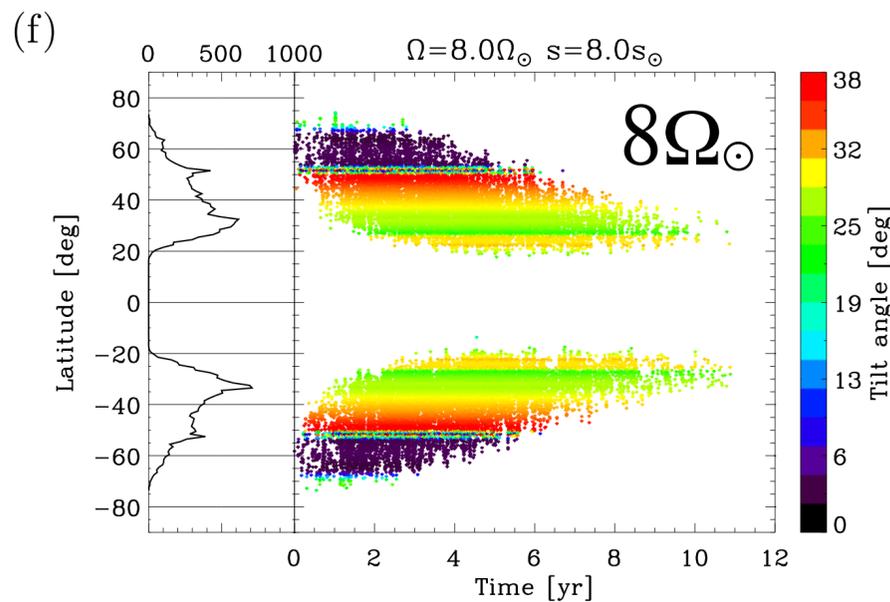
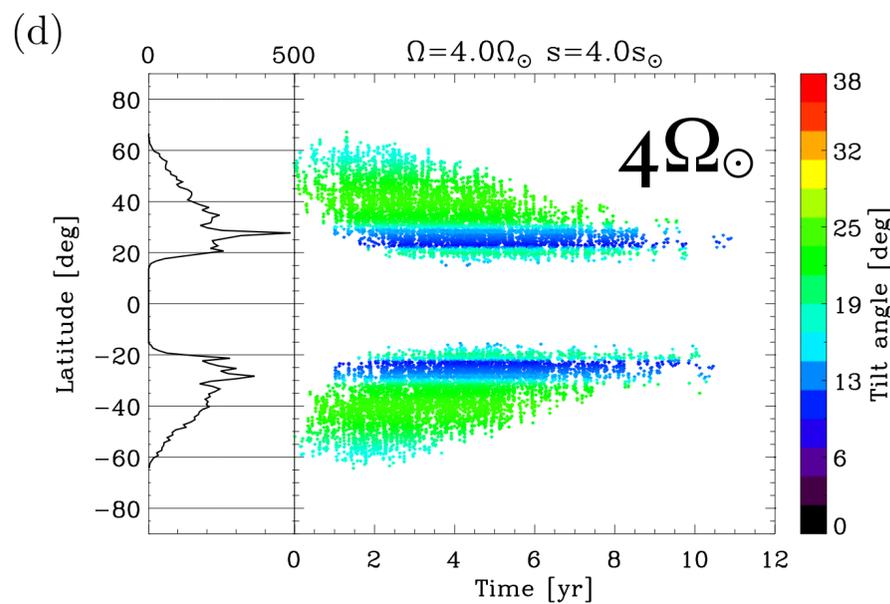
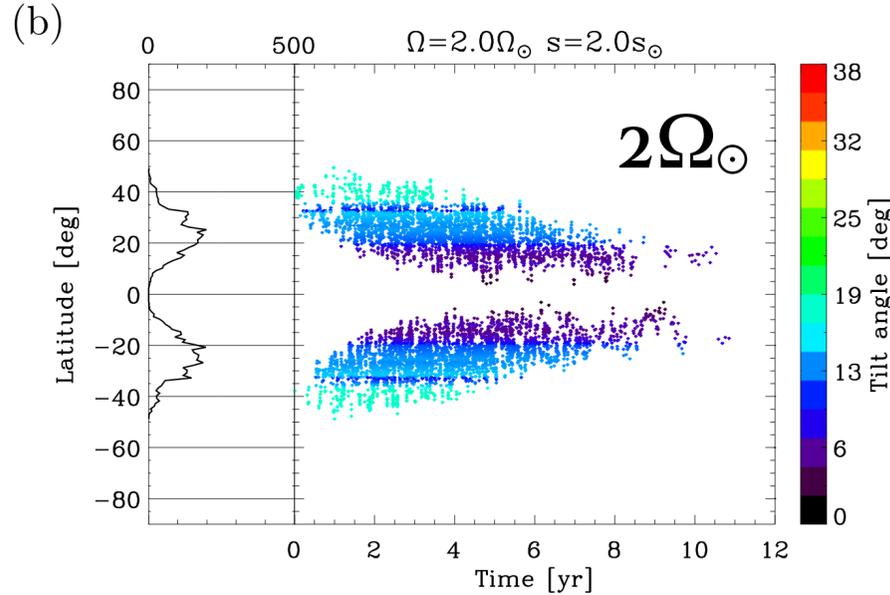
E. Işık^{1,2}, S. K. Solanki^{1,3}, N. A. Krivova¹, and A. I. Shapiro¹

- **FEAT: Flux Emergence And Transport**
- Yarı empirik Güneş çevrimi modeli (~ 22. çevrim)
- Akı tüpü benzetimleriyle taban ← yüzey @ Ω_{\odot}
- Akı tüpü benzetimleriyle taban → yüzey @ Ω_{\star}
- Temel varsayımlar:
 - Hızlı dönen Güneş'in Güneş türü bir dinamosu var
 - Etkinlik düzeyi $\propto \Omega_{\star}$



Flux Emergence And Transport [FEAT]

Işık vd. 2018

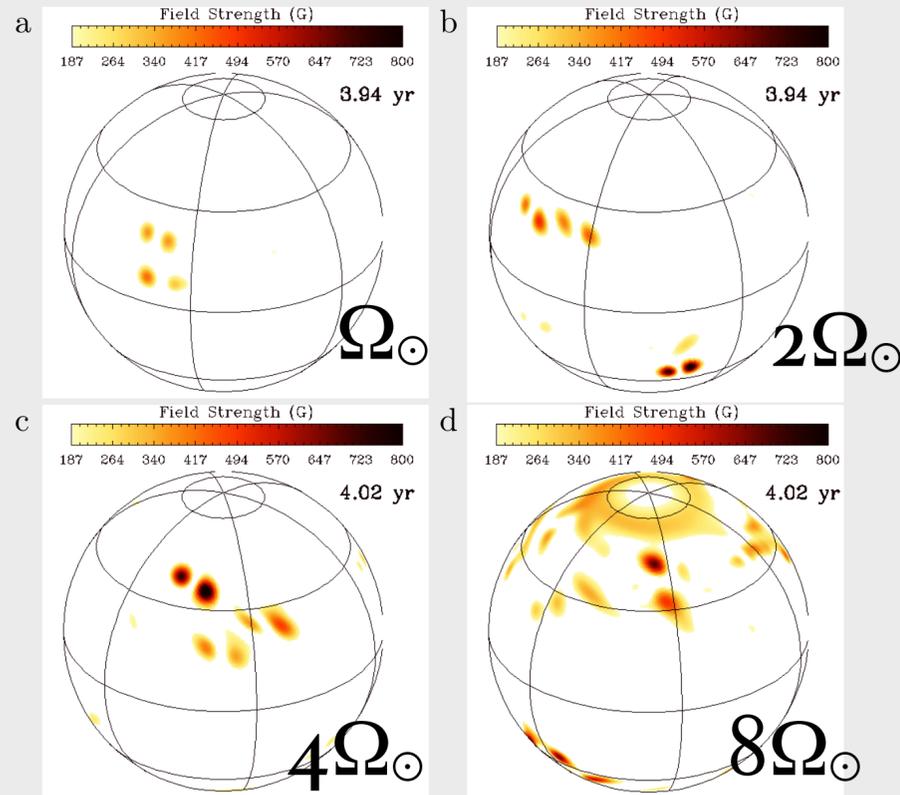


Flux Emergence And Transport

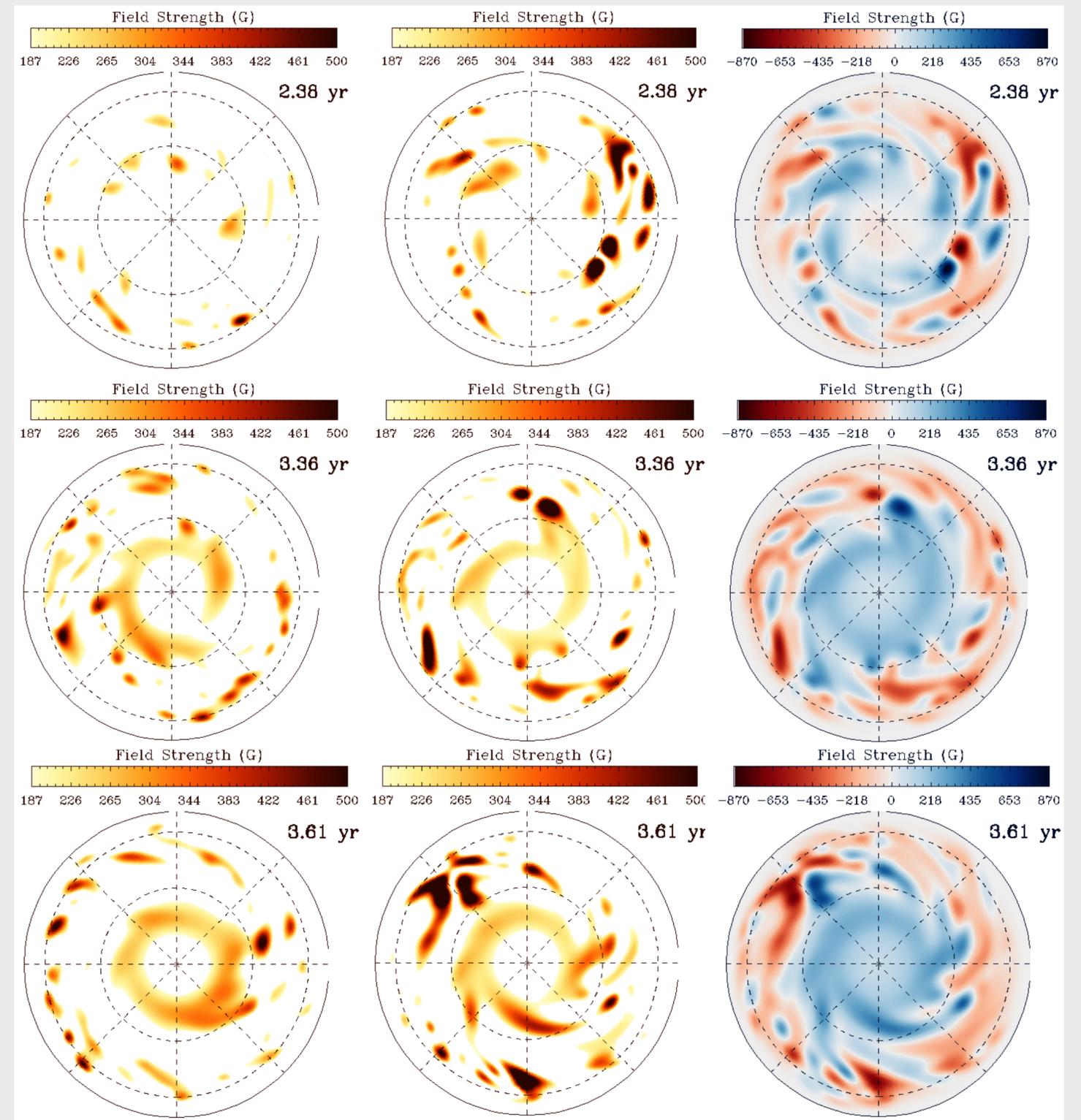
[FEAT]

Işık vd. 2018

- Kutup lekesi oluşumu

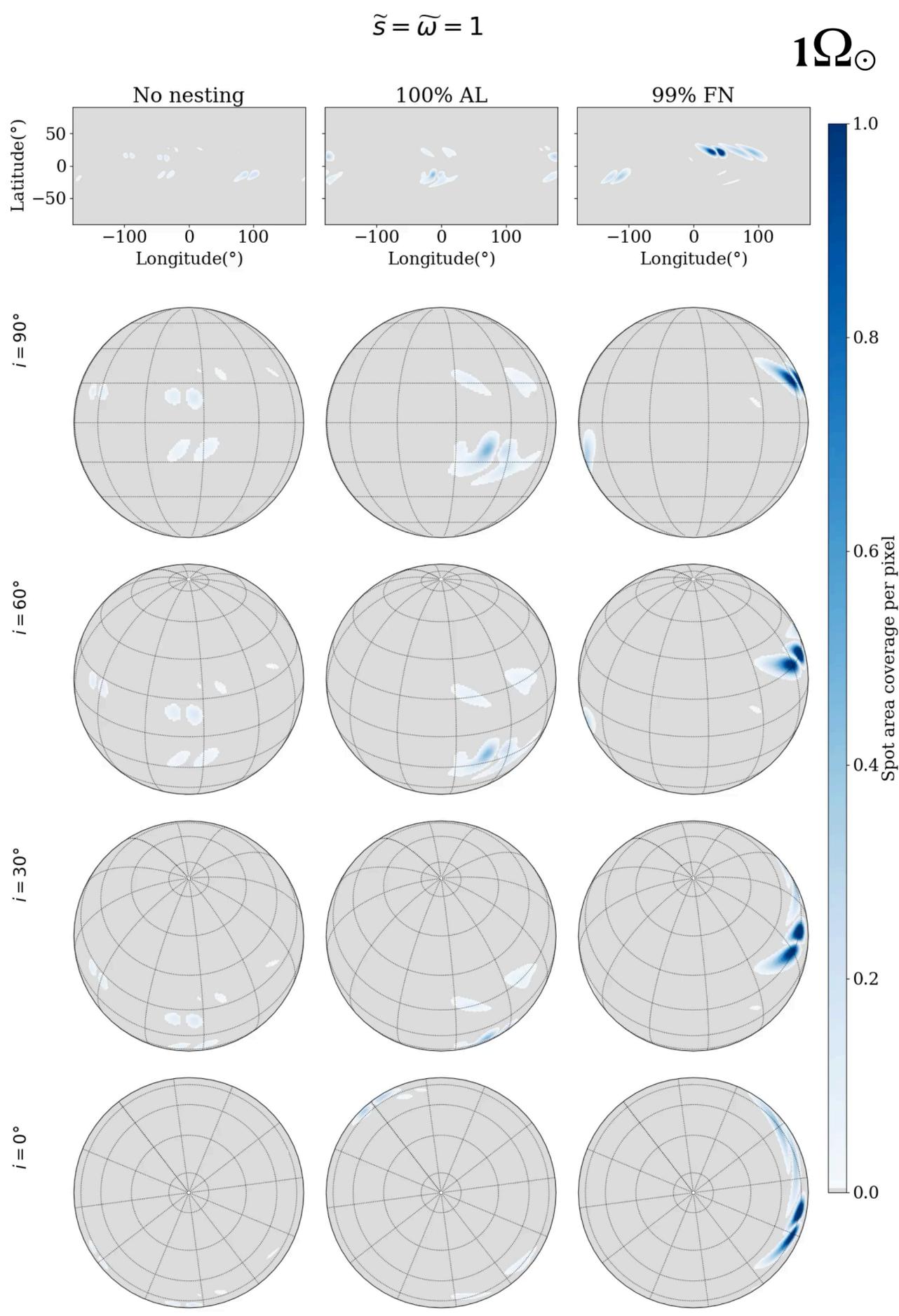


- Etkin bölge yuvalanması: dönme ile parlaklık değişkenliğinin ardındaki gizli ajan?



nesting=0.0 nesting=0.7 nesting=0.7

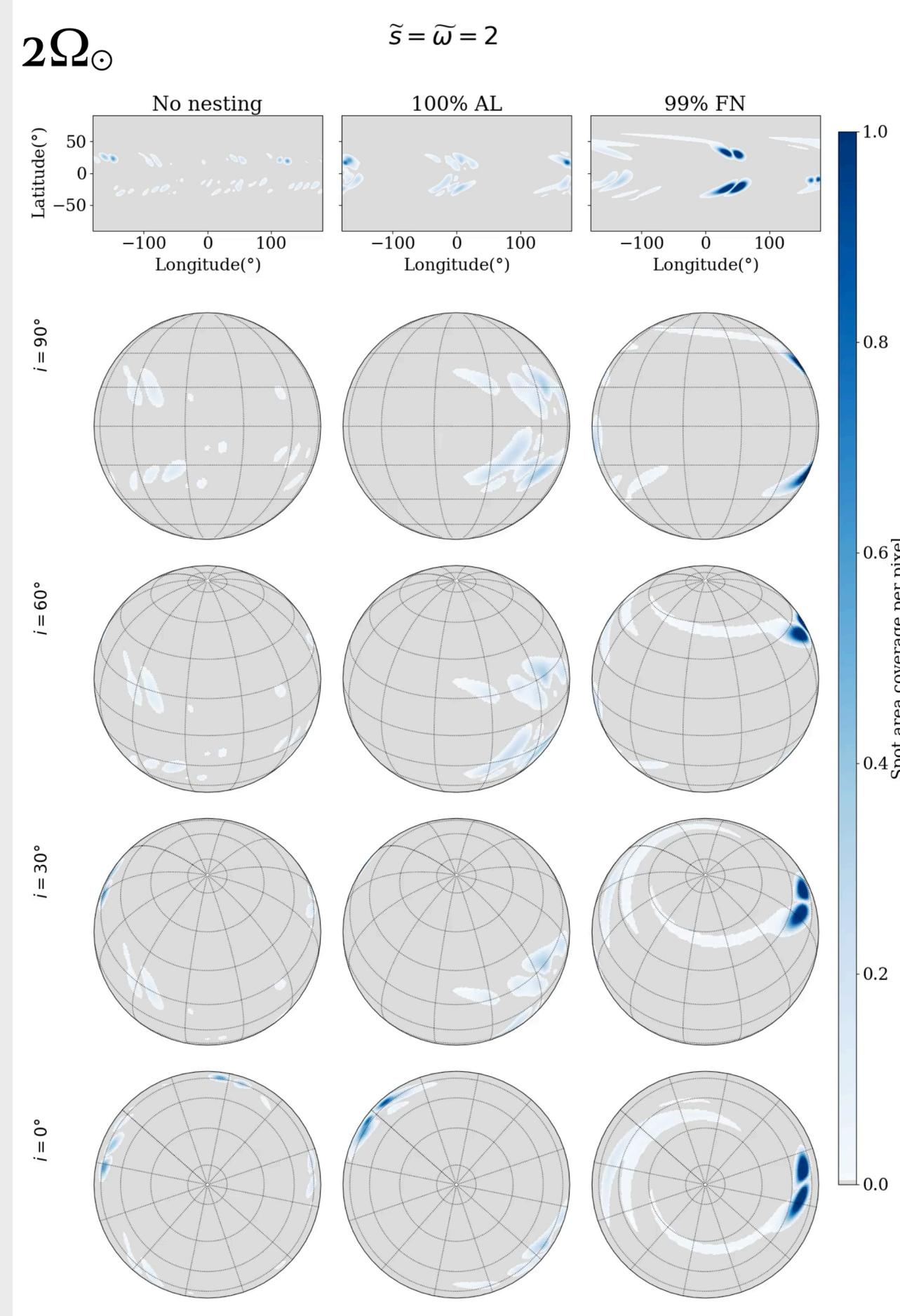
$8\Omega_{\odot}$



Leke dağılımları

Sowmya vd. 2022, *ApJ*

Animasyonlar için makaleye bkz.

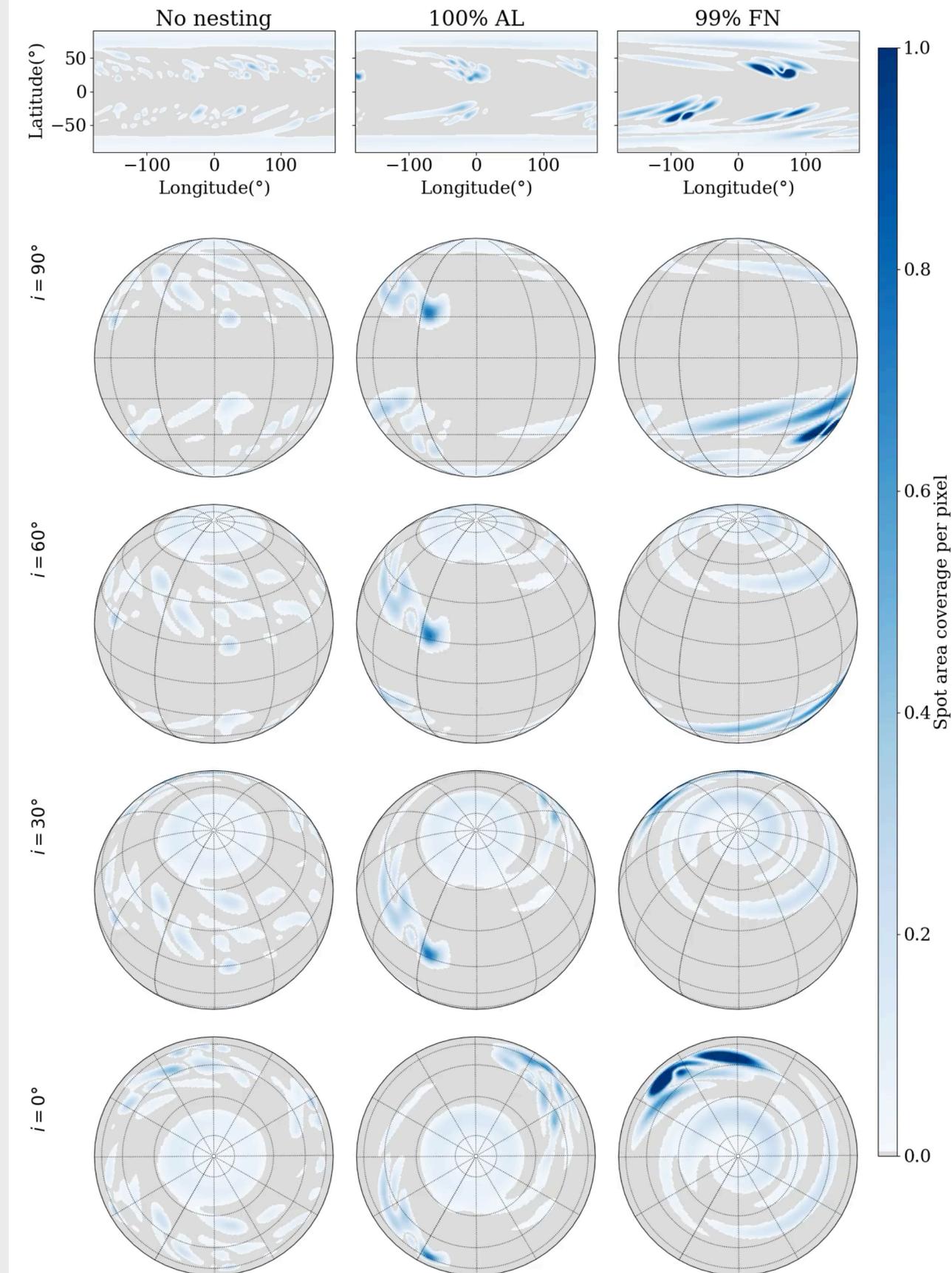


$\tilde{s} = \tilde{\omega} = 4$

$4\Omega_{\odot}$

$8\Omega_{\odot}$

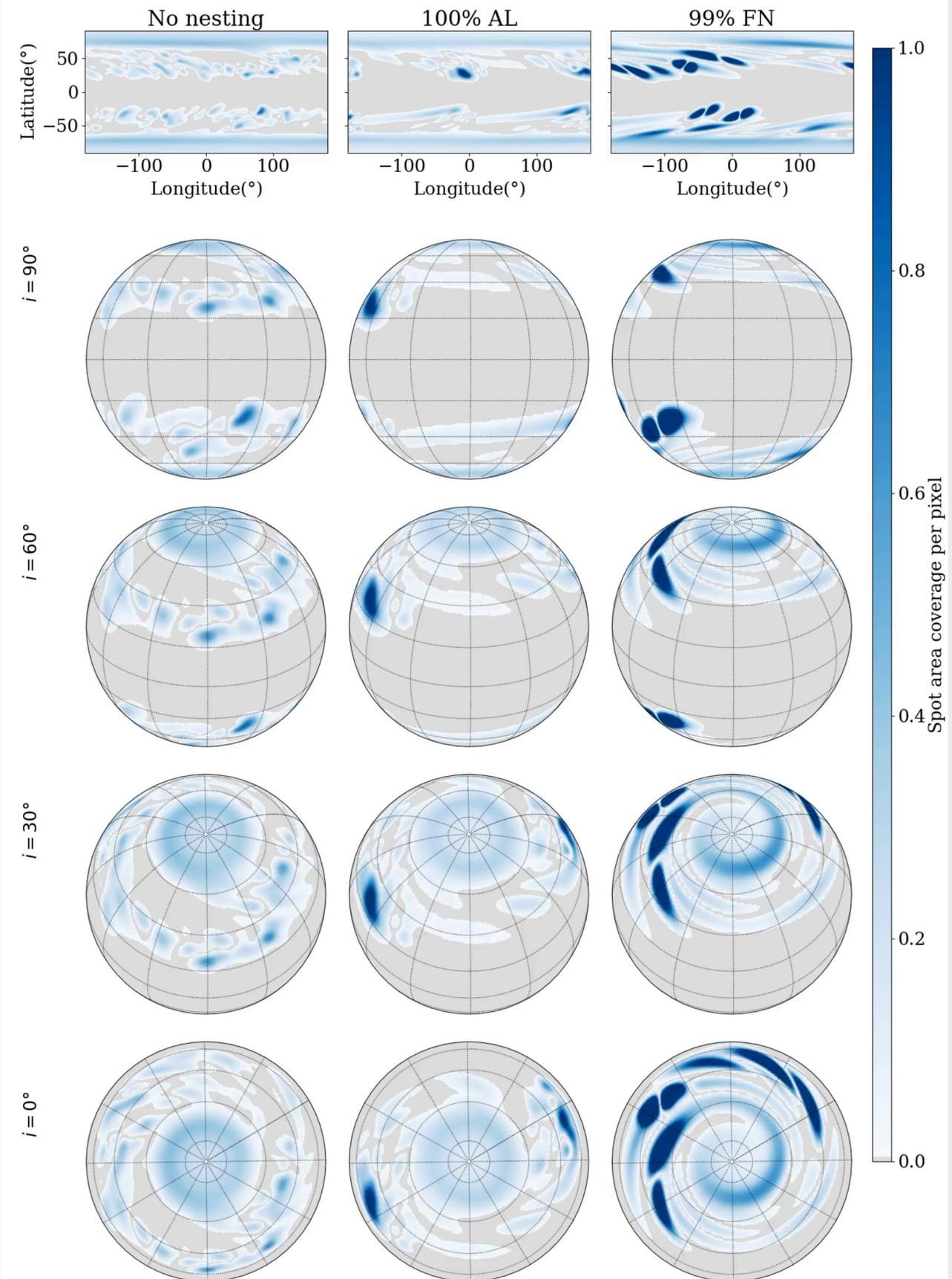
$\tilde{s} = \tilde{\omega} = 8$



Leke dağılımları

Sowmya vd. 2022, *ApJ*

Animasyonlar için makaleye bkz.





FEAT uygulamaları

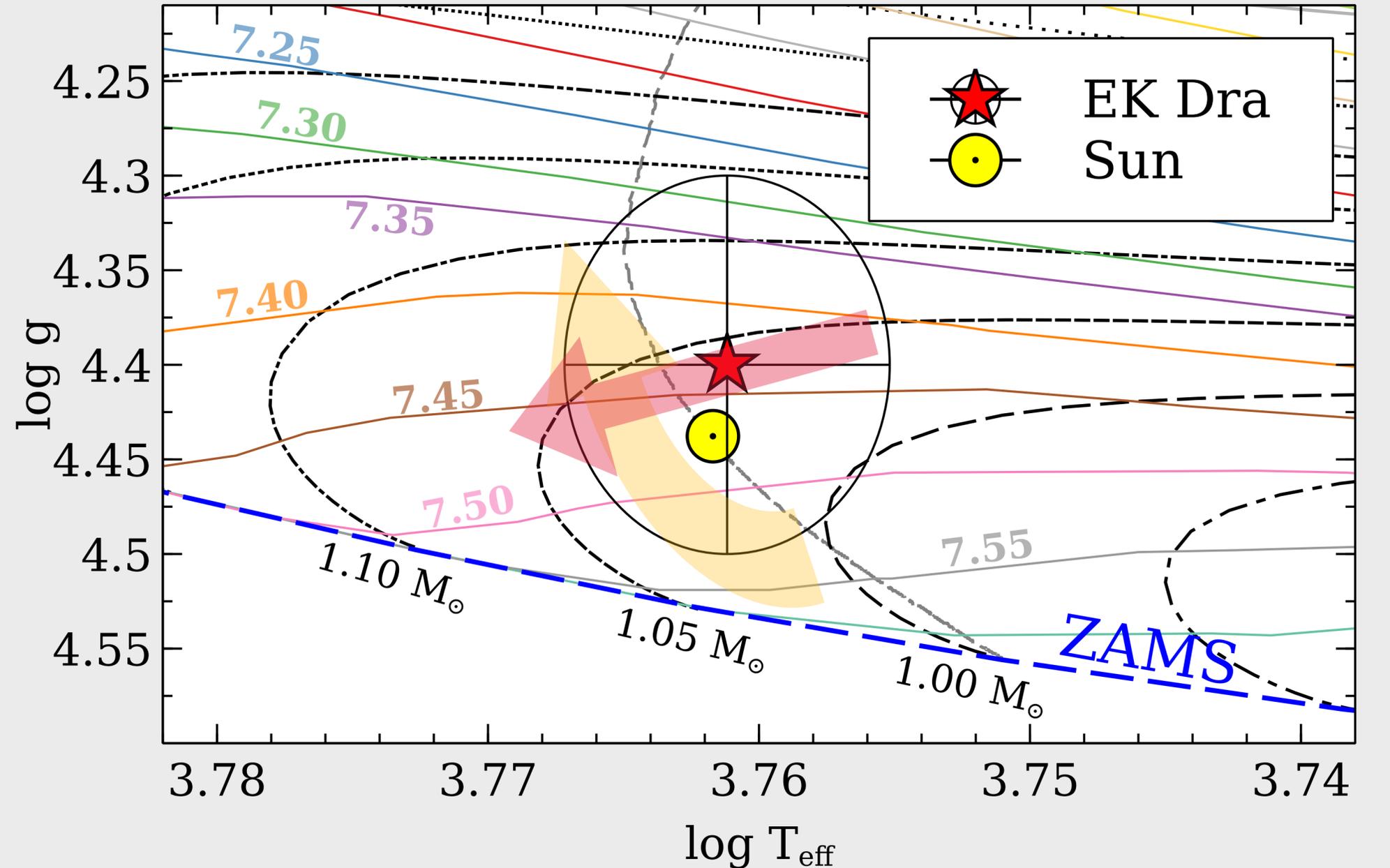


- 1. Çizgi kesiti değişkenliği
(Doppler görüntülemesi)**
2. Işıkölçüm değişkenliği
3. Astrometrik titreşme

Observing and modelling the young solar analogue EK Draconis: starspot distribution, elemental abundances, and evolutionary status

H. V. Şenavcı ^{ID},¹★ T. Kılıçoğlu,¹ E. Işık ^{ID},^{2,3}★ G. A. J. Hussain,^{4,5,6} D. Montes ^{ID},⁷ E. Bahar¹
and S. K. Solanki^{3,8}

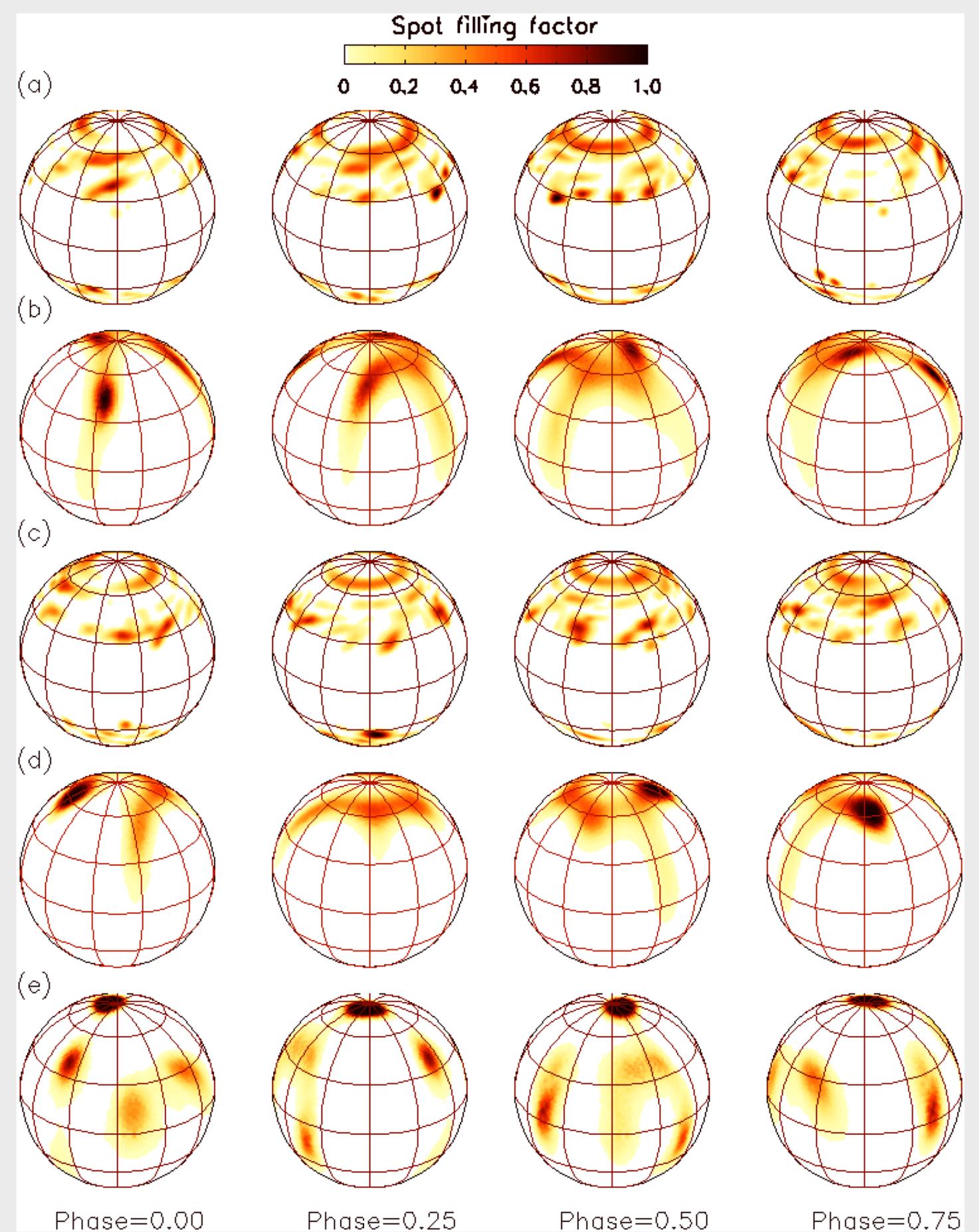
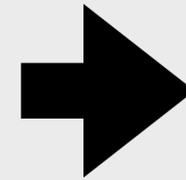
- G1.5 türü PMS yıldızı
- $P_{\text{rot}} = 2.6$ gün
- Tayflar: HERMES & CAFE



EK Dra vs. FEAT@9.6 Ω_{\odot}

Şenavcı, Kılıçoğlu, Işık vd. (2021 *MNRAS*)

- Leke alanları benzetimi (FEAT)
- Doppler görüntüsü (FEAT-DI)
- Gözlemsel Doppler görüntüsü



Diferansiyel dönme dayatılırsa...

Şenavcı, Kılıçoğlu, Işık vd. (2021 *MNRAS*)

- Dif. dönme ile Doppler g.
- “Güney” yarıkürenin yan etkisi?
- Dif. dönen DI_{obs} , FEAT ile daha uyumlu

$2X \Delta\Omega_{\odot}$

$4X \Delta\Omega_{\odot}$

gözlemsel DI

FEAT

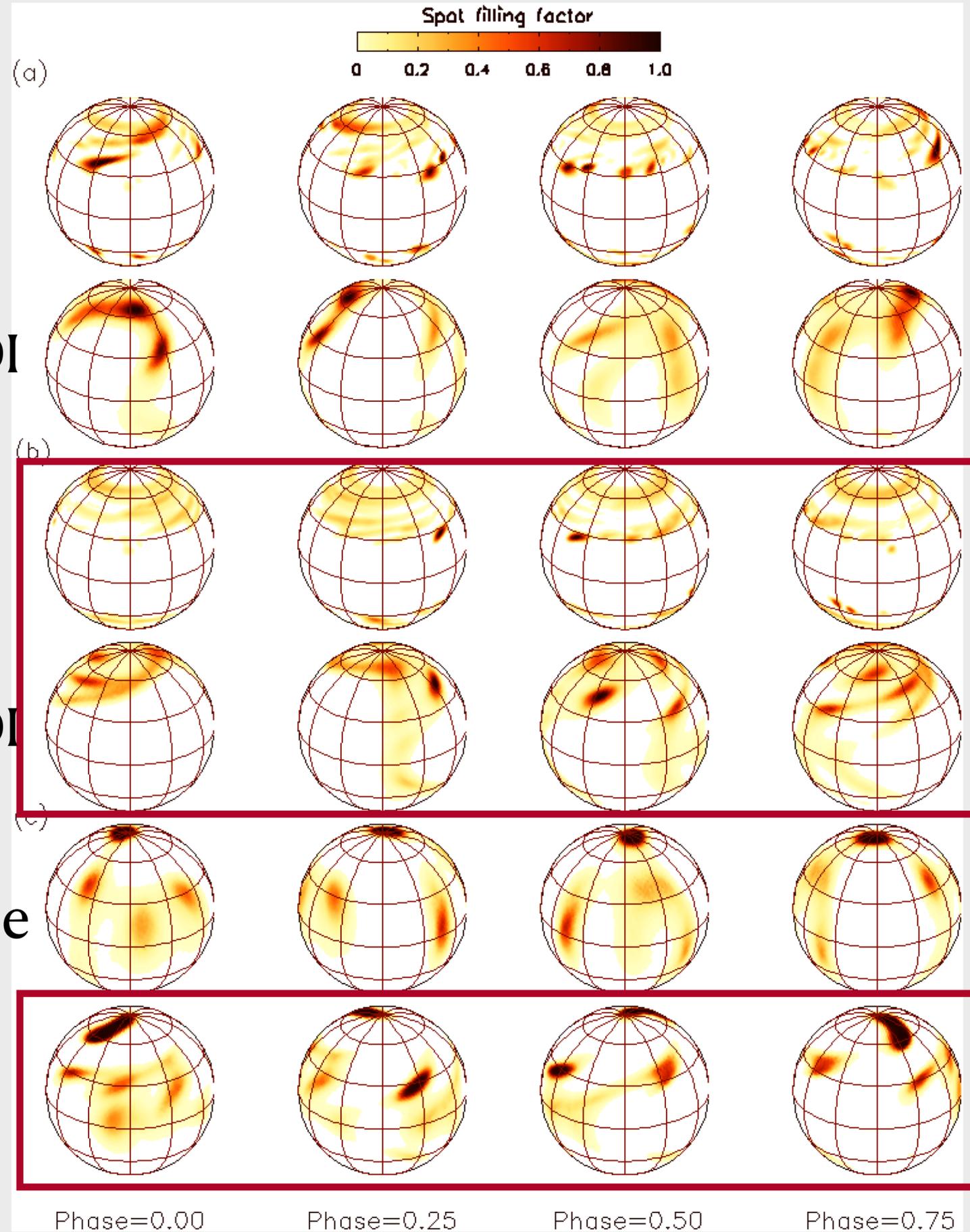
FEAT-DI

FEAT

FEAT-DI

katı dönme

$4X \Delta\Omega_{\odot}$





FEAT uygulamaları



1. Çizgi kesiti değişkenliği
(Doppler görüntülemesi)
- 2. Işıkkölçüm değişkenliği**
3. Astrometrik titreşme

Forward modelling of brightness variations in Sun-like stars

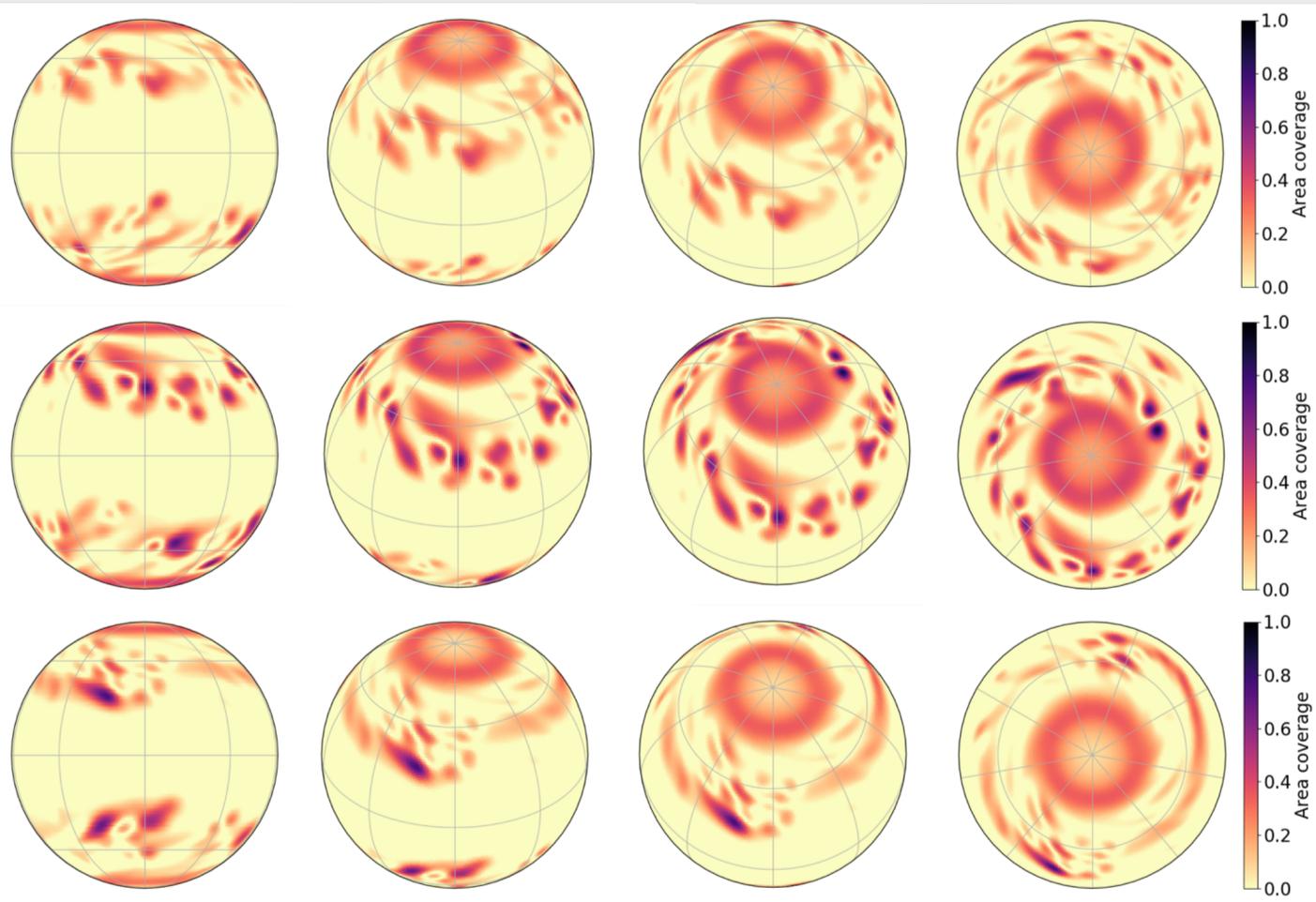
II. Light curves and variability

Nèmec, Shapiro, Işık, et al. (2022, *A&A*, hakemde)

Lekeler

Yuvalanma

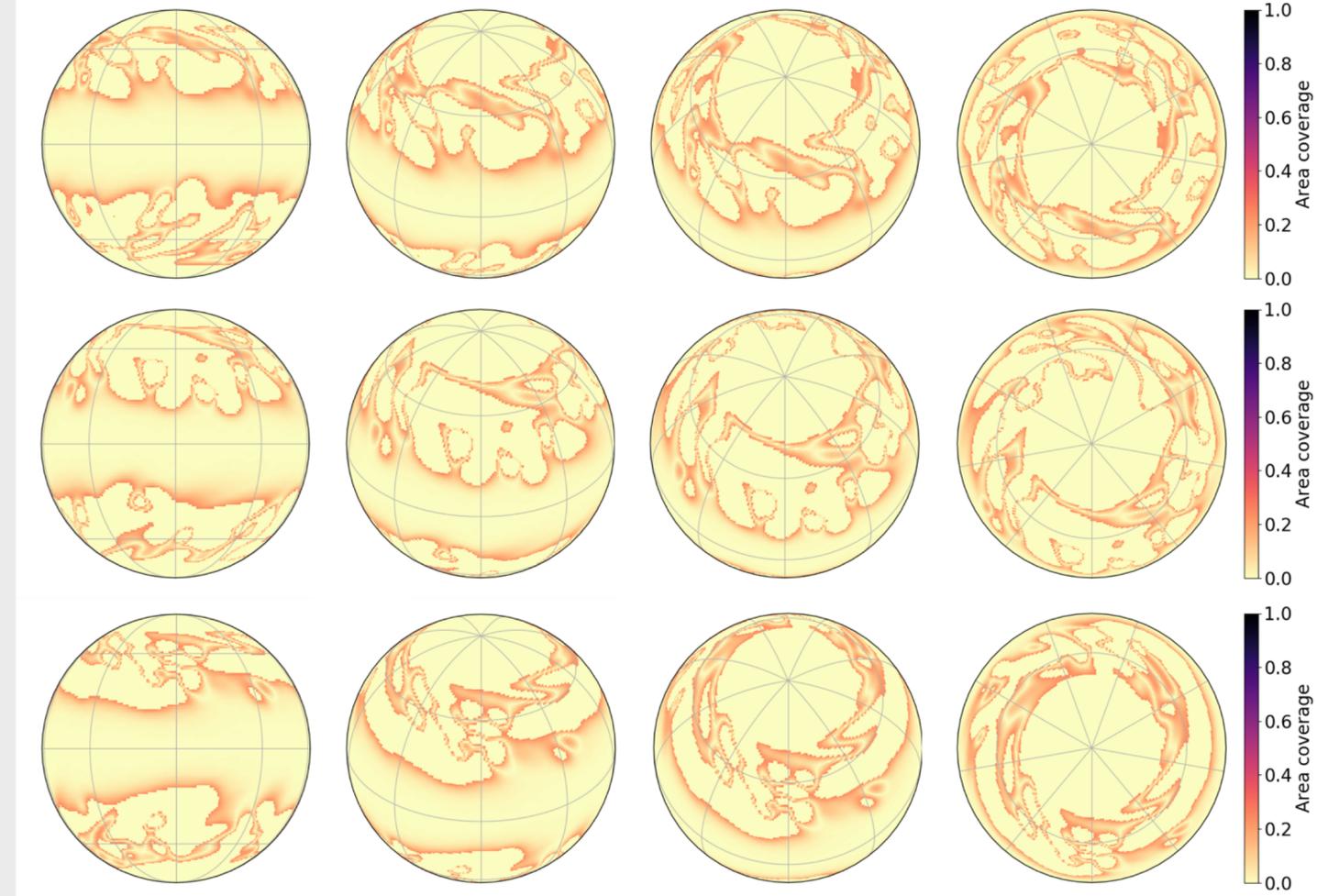
Plaj (etkin bölge ağı)



0.0

0.7 free

0.7 AL

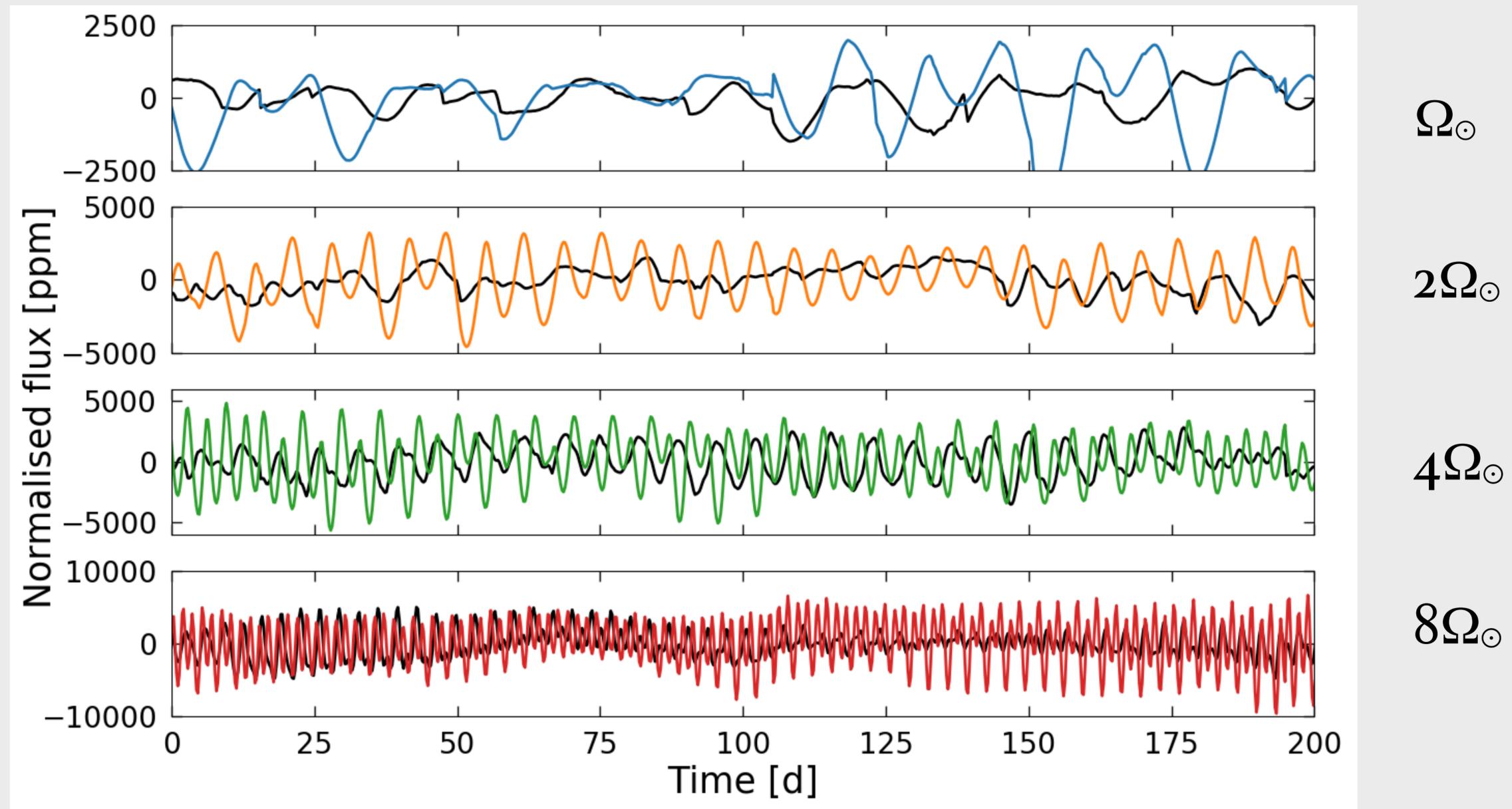


Forward modelling of brightness variations in Sun-like stars

II. Light curves and variability

Nèmec, Shapiro, Işık, et al. (2022, *A&A*, hakemde)

Siyah: yuvalanma yok — Renkli: %70 etkin boylam yuvalanması

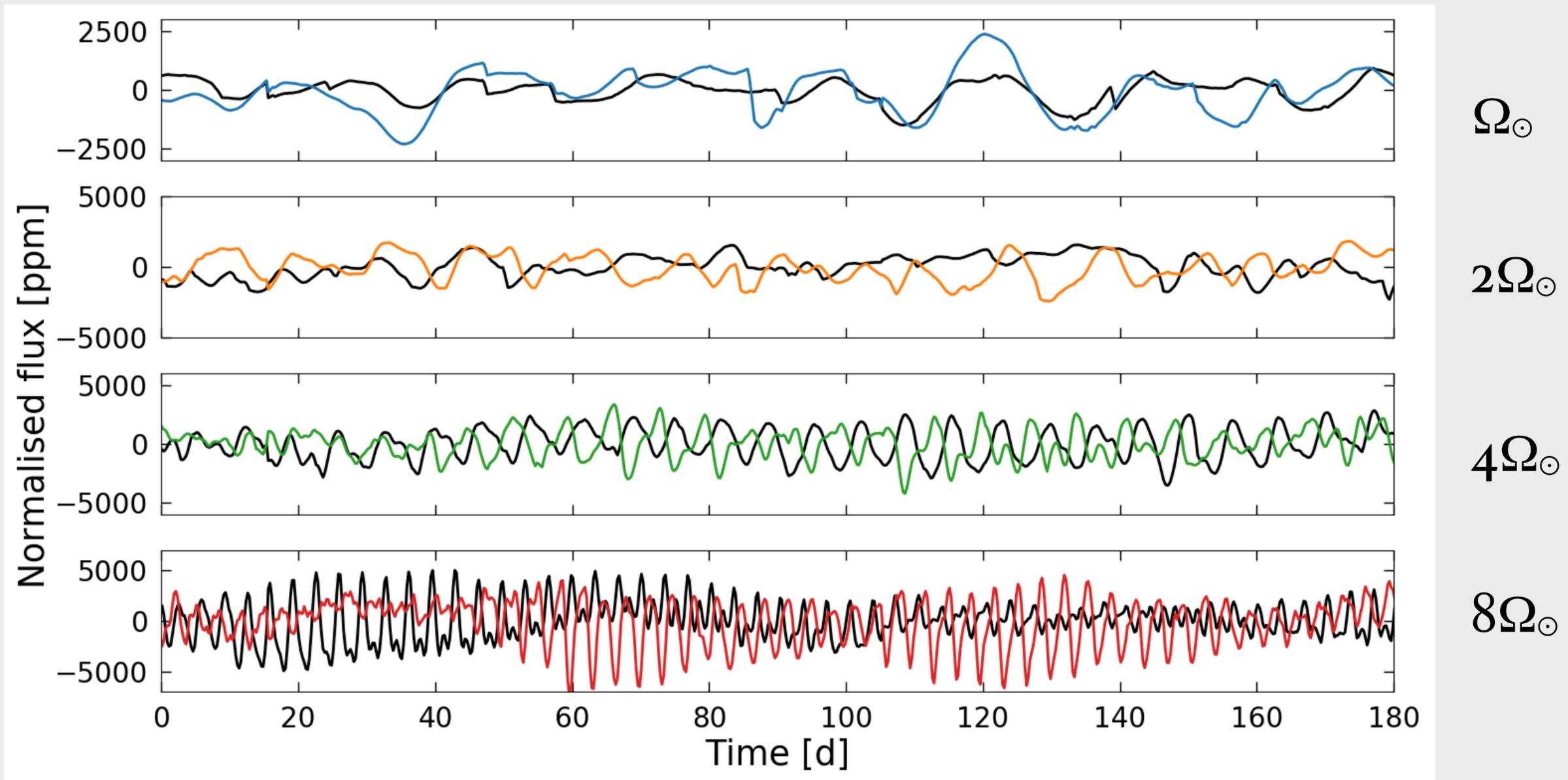


Forward modelling of brightness variations in Sun-like stars

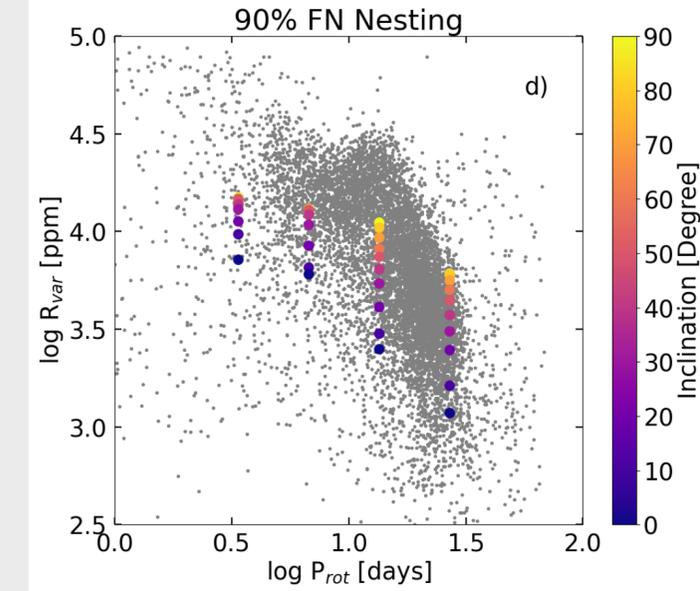
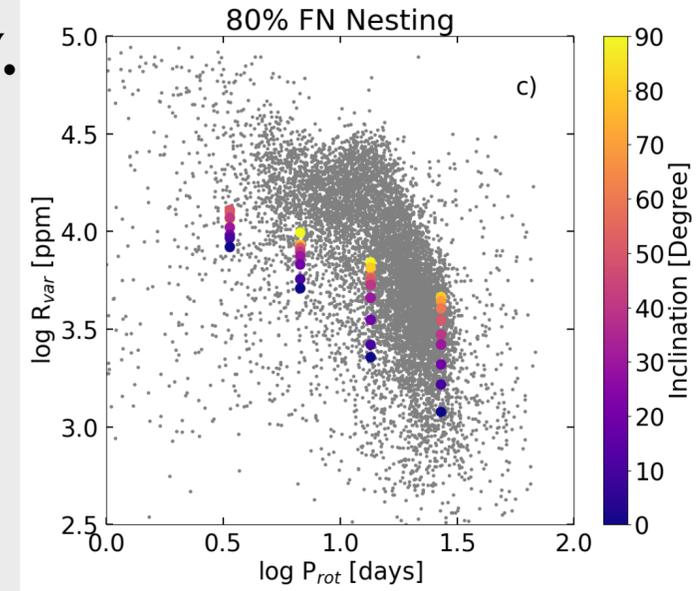
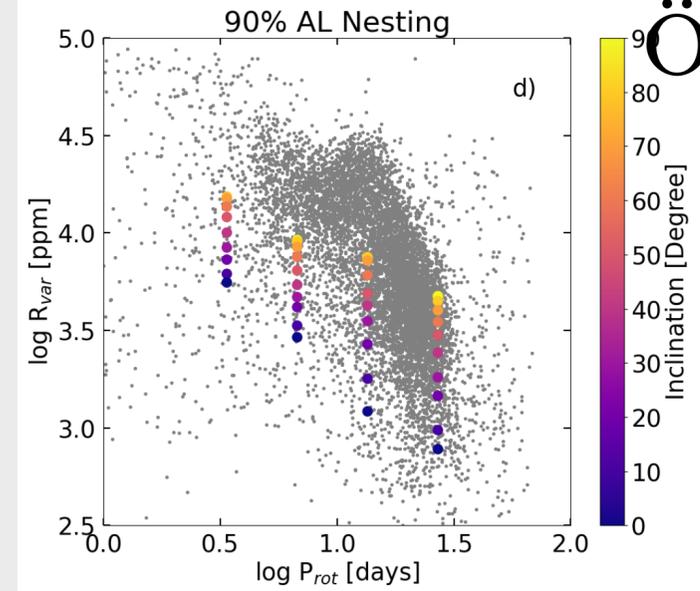
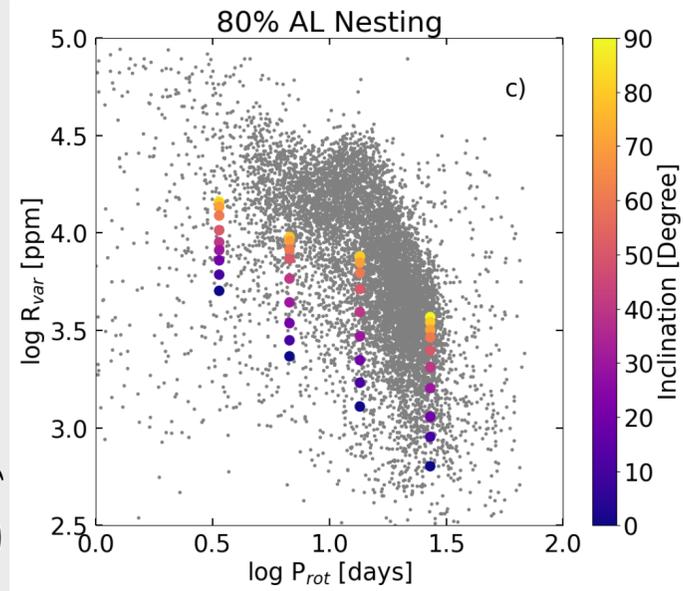
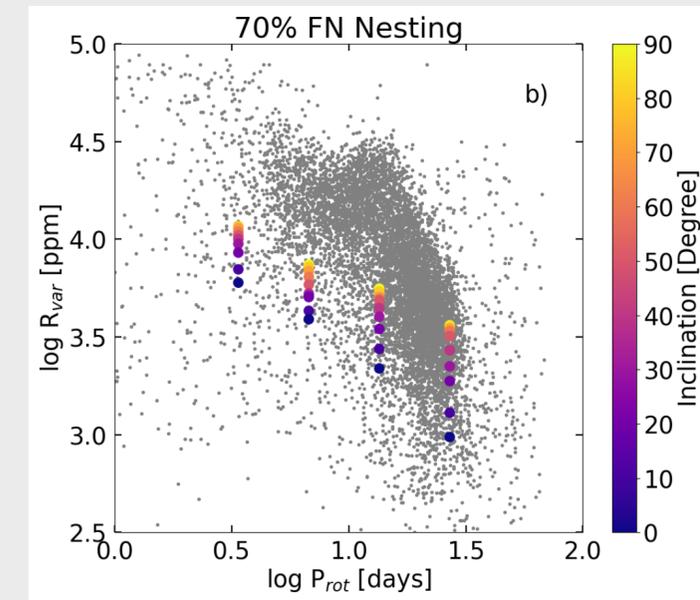
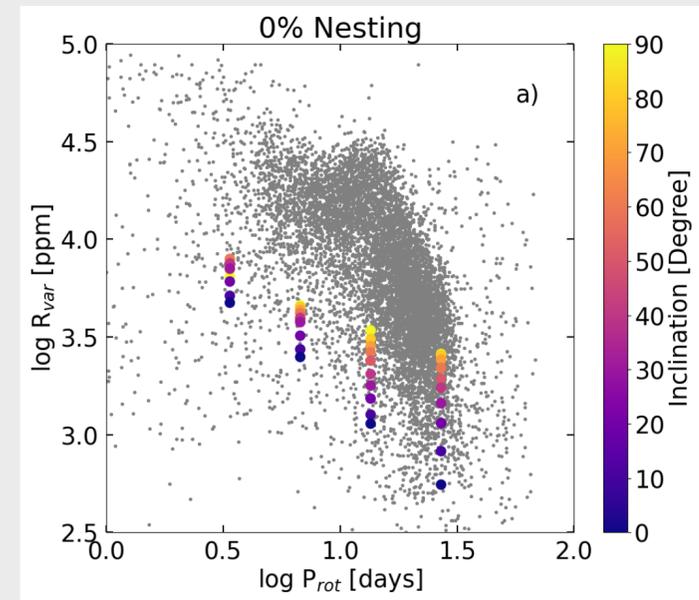
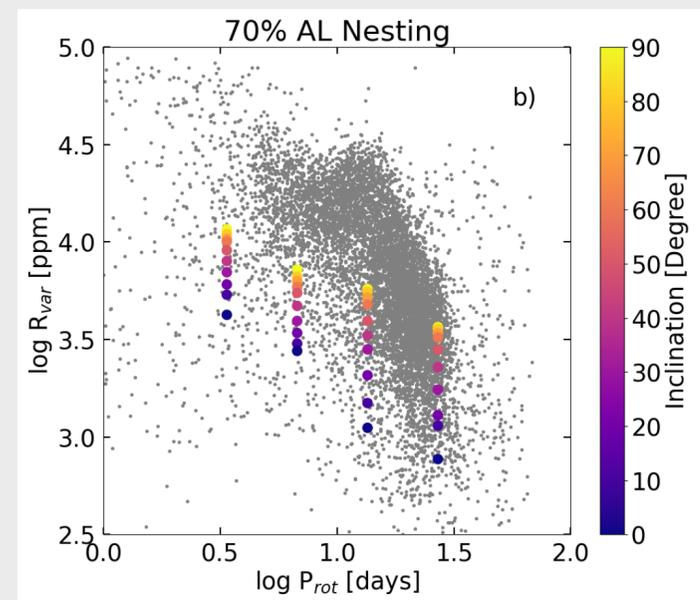
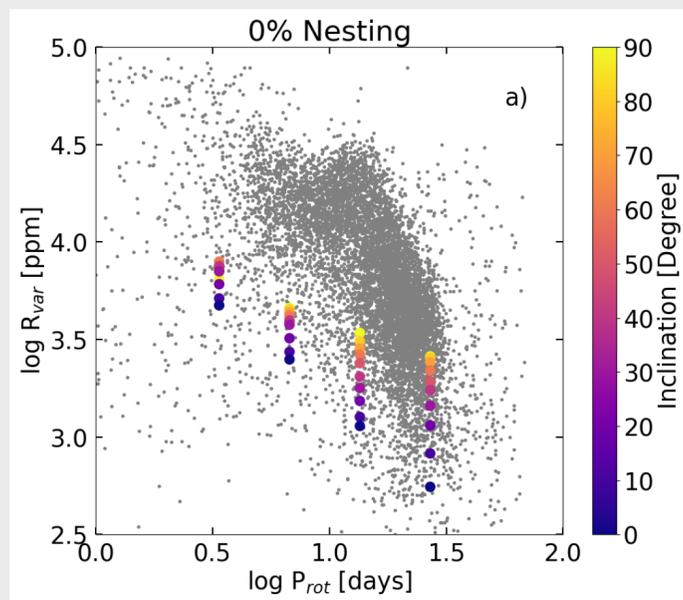
II. Light curves and variability

Nèmec, Shapiro, Işık, et al. (2022, *A&A*, hakemde)

Siyah: yuvalanma yok — Renkli: %70 özgür yuvalanma

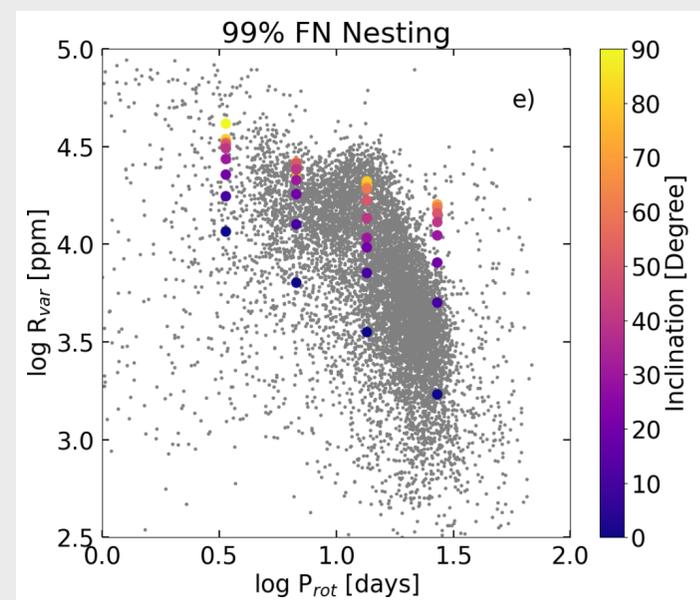
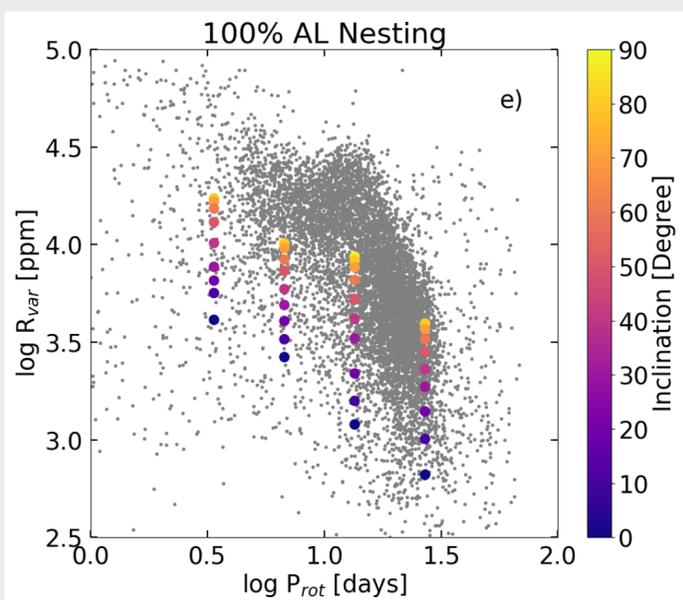


↑ **log(Değişkenlik)**



Özgür yuv.

Etkin boylam yuv.



inclination

inclination

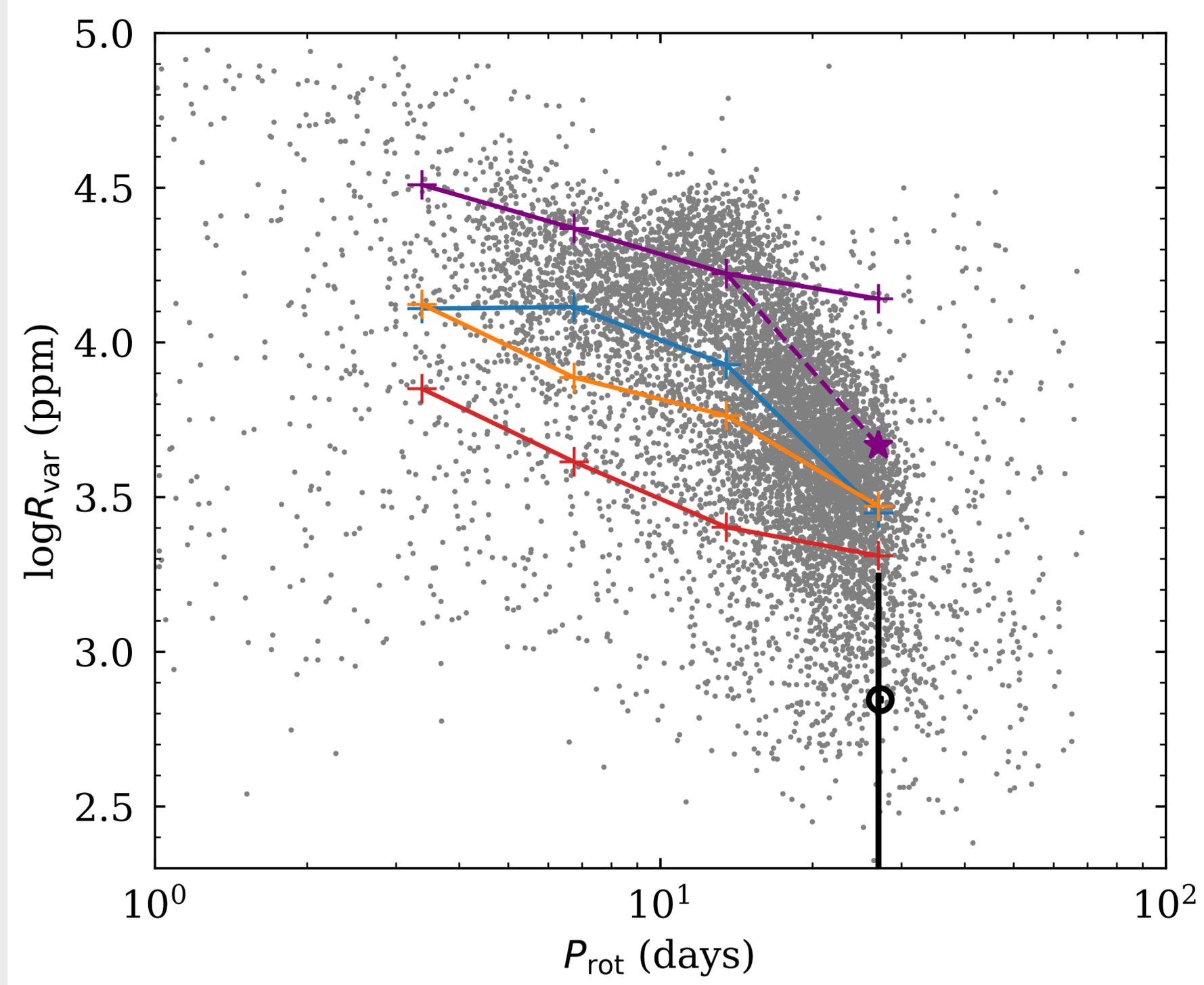
log(P_rot)



Bilinen periyotlu güneşler ve FEAT benzetimleri



- *Kepler* 'Suns':
5500-6000 K
- FEAT varsayımı:
1-1 dönme-etkinlik
ölçeklemesi



Yuvalanma: Özgür 0.99

★ Yuv.: Özgür 0.90

Gözlemsel ortalama

Yuv.: Etkin boylam 1.0

Yuv.: 0.0

Göz. Güneş aralığı



FEAT uygulamaları



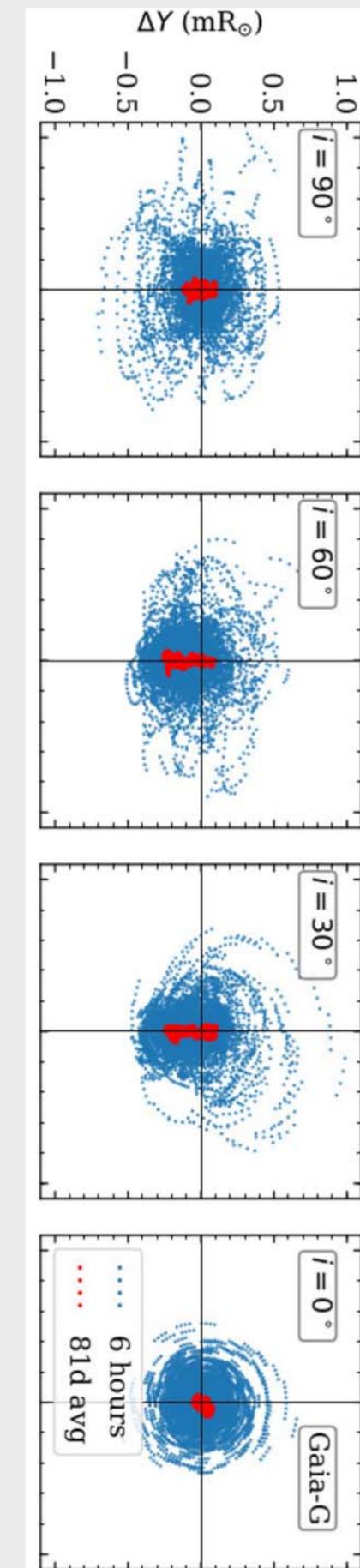
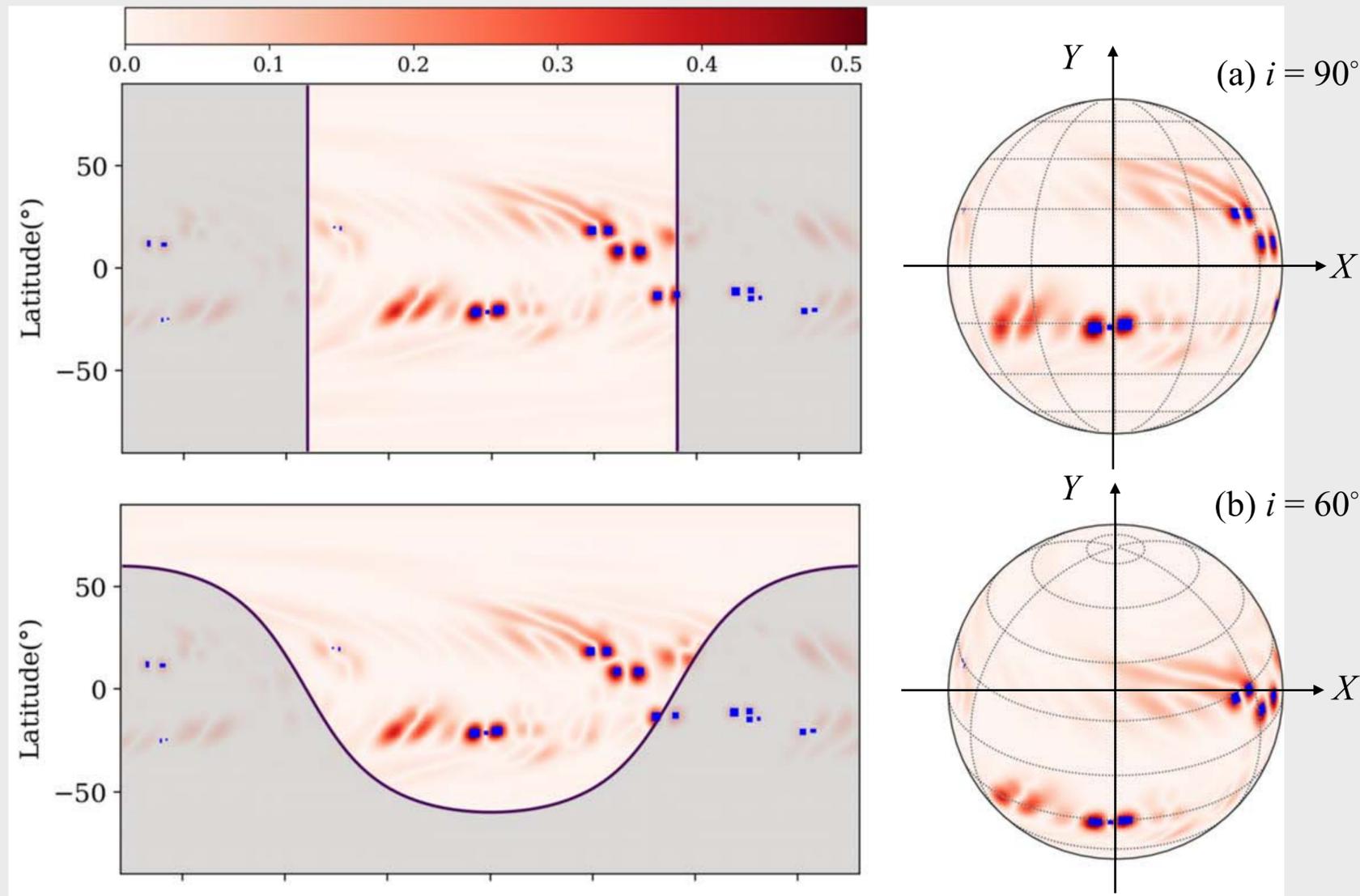
1. Çizgi kesiti değişkenliği
(Doppler görüntülemesi)
2. Işıkölçüm değişkenliği
3. **Astrometrik titreşme**



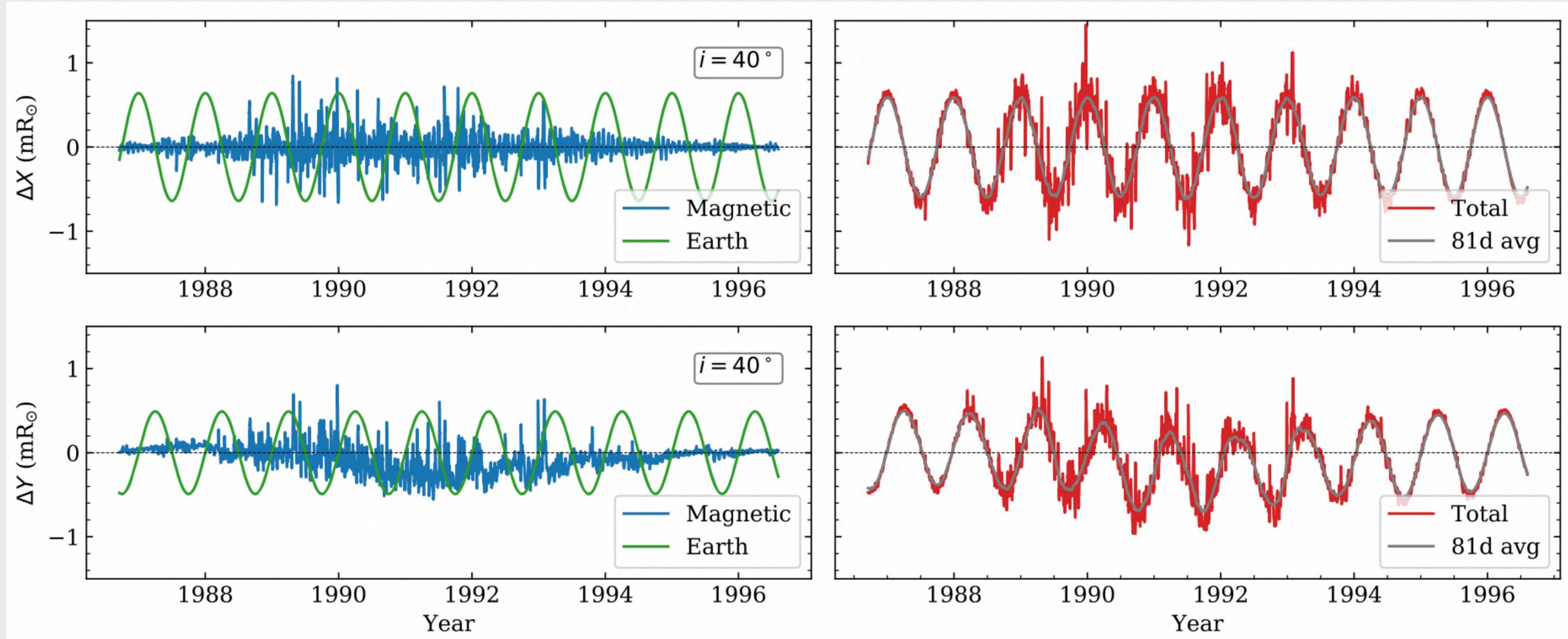
Predictions of Astrometric Jitter for Sun-like Stars. II. Dependence on Inclination, Metallicity, and Active-region Nesting

K. Sowmya¹ , N.-E. Nèmec¹ , A. I. Shapiro¹ , E. Işık² , V. Witzke¹ , A. Mints³ , N. A. Krivova¹ , and S. K. Solanki^{1,4}

Model based on Shapiro et al. 2021 *ApJ* - paper I



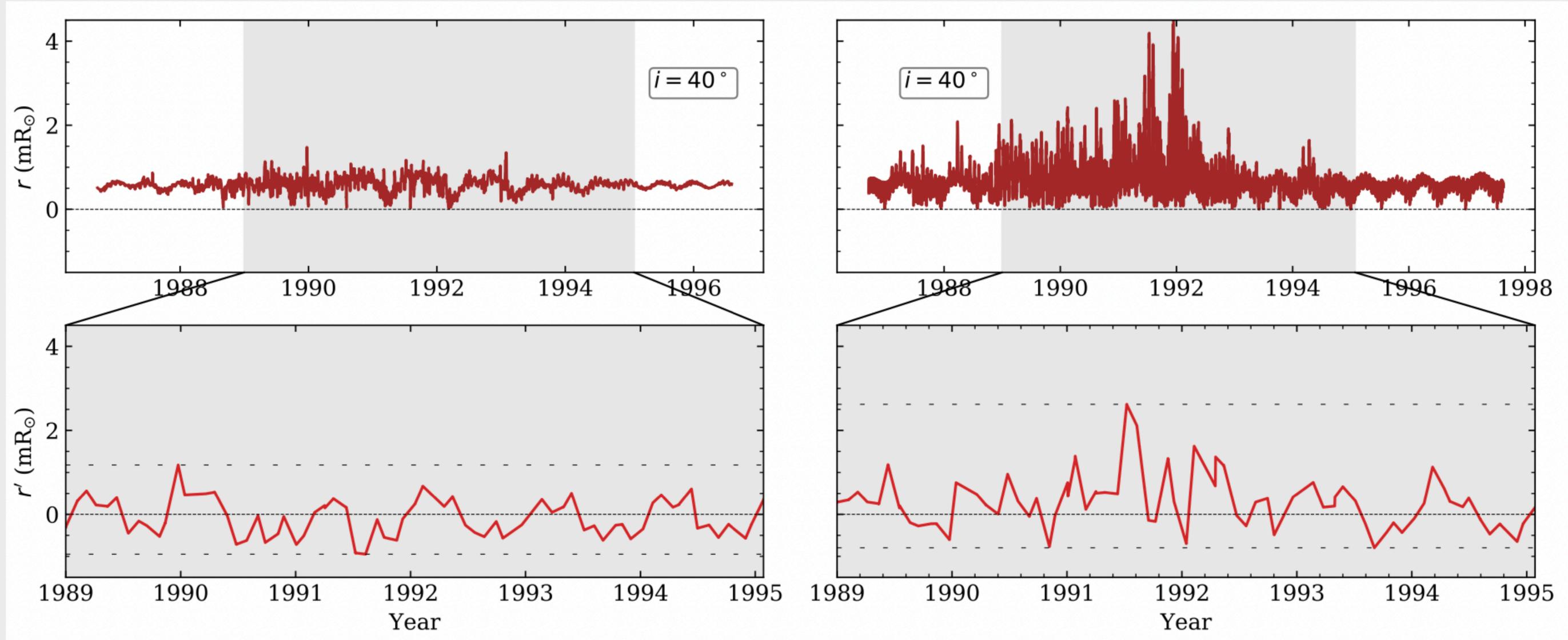
Astrometrik yalpalama : Güneş etkinliği + Yer



Astrometrik yalpalama : Güneş etkinliği + Yer

Yuvalanma yok

%90 yuvalanma

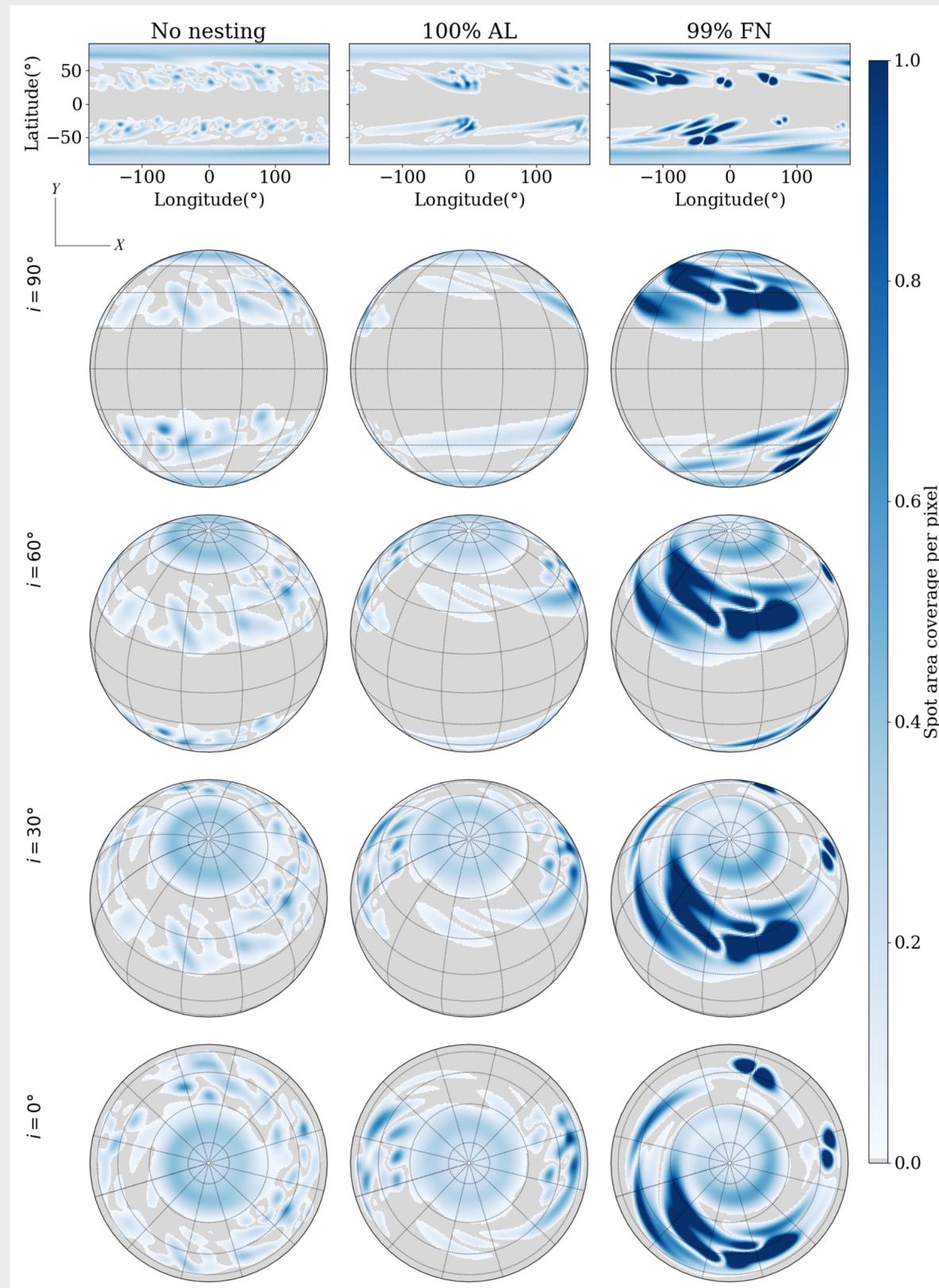


Gaia'nın gözlem stratejisine uygun örnekleme

Predictions of Astrometric Jitter for Sun-like Stars. III. Fast Rotators

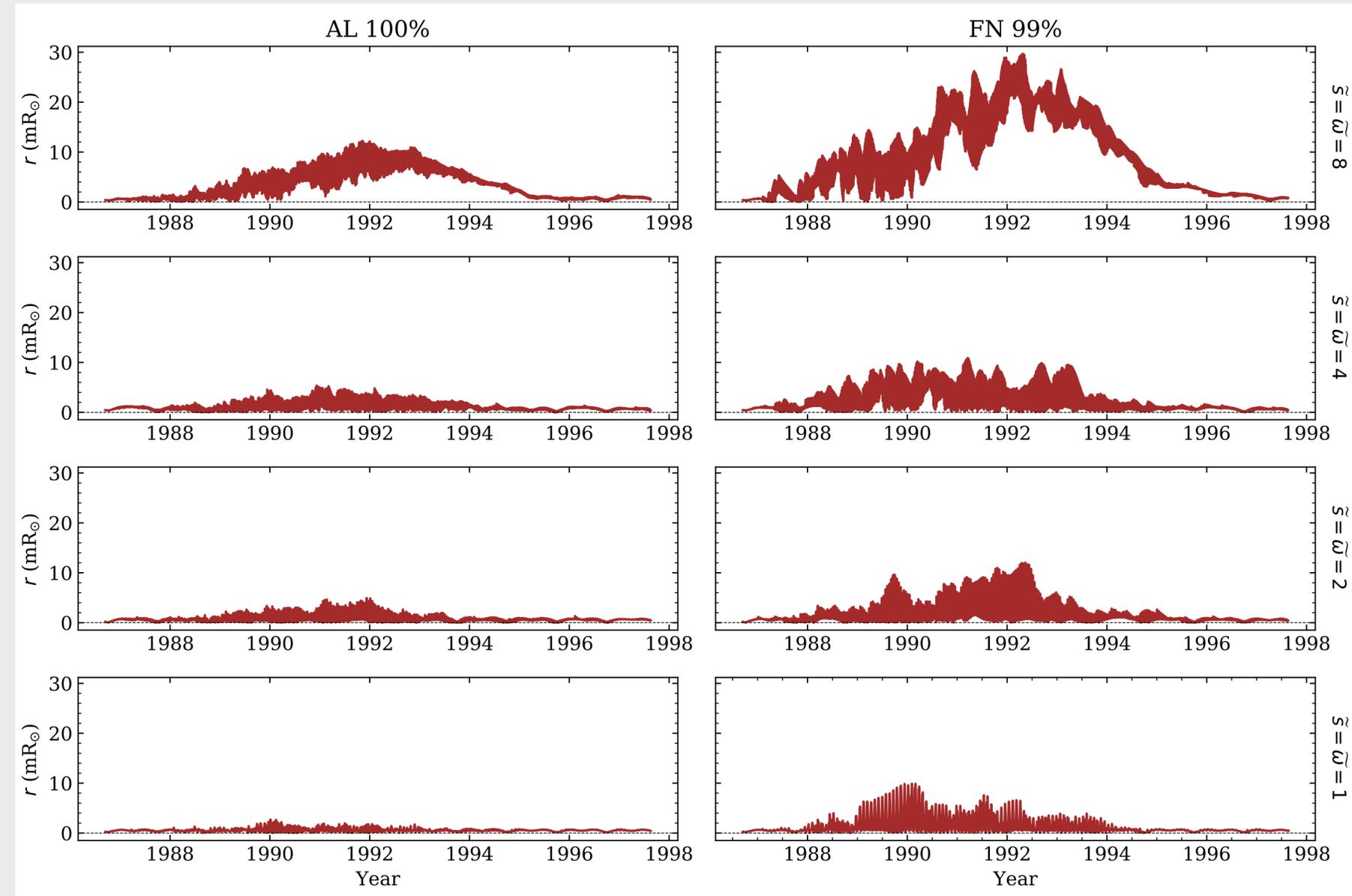
K. SOWMYA,¹ N.-E. NÈMEC,^{2,1} A. I. SHAPIRO,¹ E. IŞIK,³ N. A. KRIVOVA,¹ AND S. K. SOLANKI^{1,4}

Etkin yıldızlar



Sowmya et al. 2022, *ApJ*

$i = 60^\circ$



Sonuçlar

- Etkin bölge yuvalanması, öncelikle Güneş'te daha iyi belirlenmeli.
- Etkin bölge yuvalanması, Güneş "eşi" yıldızların değişkenlik desenlerinde önemli!
- Etkin bölgeler arası akı sıfırlanması, faküla - leke baskınlığını açıklıyor.
- Doppler görüntülerinde alçak enlemli yapılar, diğer yarıküre etkinliğinin izi olabilir!
- Dönme-etkinlik bağıntısı + etkin bölge yuvalanması → değişkenlik desenleri
- Etkinliğe bağlı astrometrik yalpalama:
 - gezegen tanısında hata kaynağı
 - manyetik etkinlik desenlerini anlamada araç

İşbirlikleri: Alexander Shapiro, Sami Solanki (*MPI f. Solar Sys. Res.*), Nina-Elisabeth Nèmec (*Uni. Göttingen*)
Hakan V. Şenavcı, İbrahim Özavcı, Tolgahan Kılıçoğlu, Engin Bahar, Nurdan Karapınar (*Ankara Ü.*)