

Samanyolu Yüksek- α Diskinin Yapısı ve Evrimi: Kimyasal ve Yaş-Yörünge Haritalaması

LAMOST–Gaia altdevleriyle yörünge uzayında kartografya



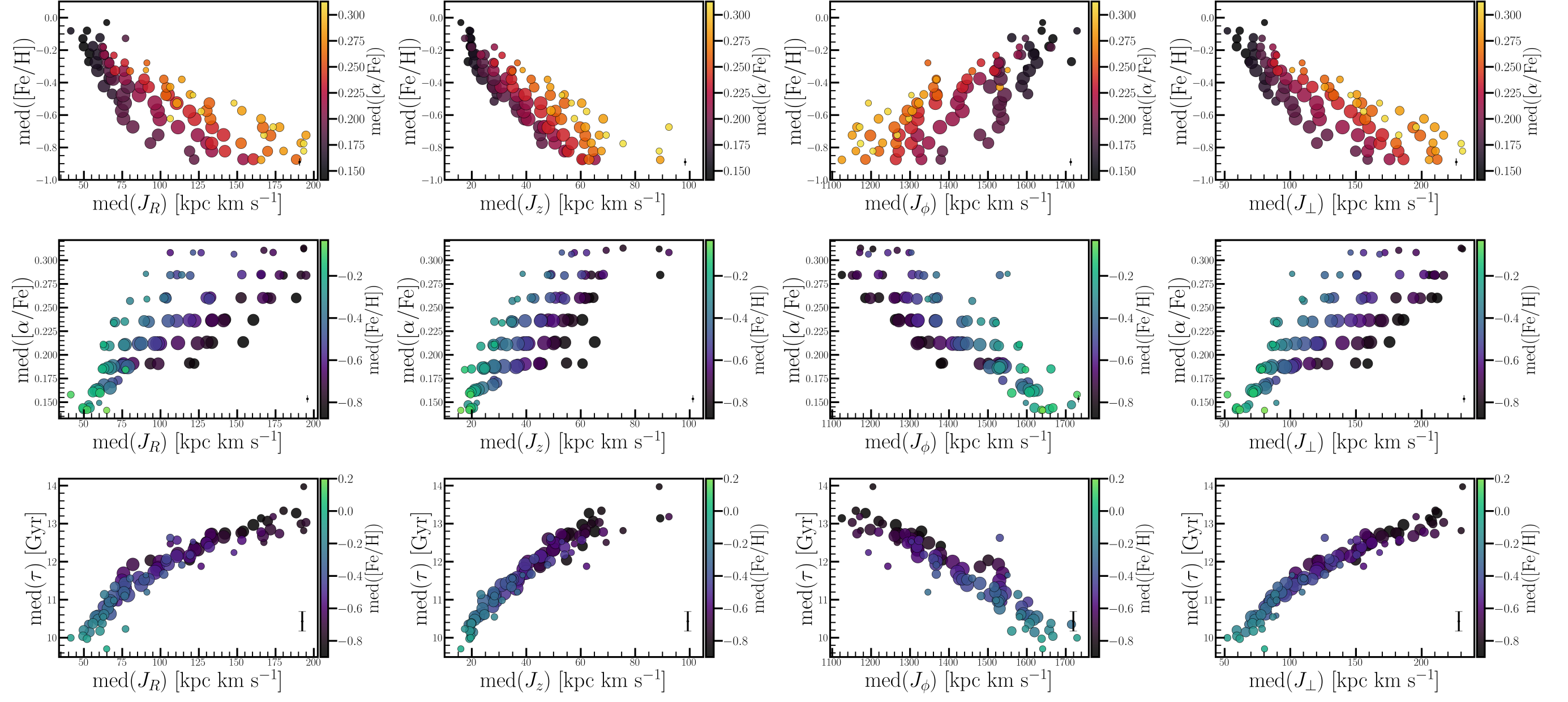
Akbaba, Horta & Plevne 2026
MNRAS, arXiv:2603.19230

Furkan Akbaba¹ Danny Horta² Olcay Plevne³

¹Ü Fen Bilimleri Enstitüsü · ²Institute for Astronomy, Univ. of Edinburgh · ³Ü Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzak Bilimleri Bölümü

Tek-bolluklu popülasyonlar

$[\alpha/\text{Fe}]$ – $[\text{Fe}/\text{H}]$ düzleminde $0,05 \times 0,025 \text{ dex}^2$ dar kutular (MAP), ortak bir kimyasal zenginleşme yolundan gelen yıldızları gruplamaktadır. Her MAP'in medyan değerlerini yörünge niceliklerine karşı çizmek, eğilimleri **gürültüden arındırılmış** biçimde ortaya koymaktadır. **Satırlar:** J_R , J_z , J_ϕ ve $J_\perp$. **Sütunlar:** medyan $[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\alpha/\text{Fe}]$ ve yaş. Renkler sağ taraftaki renk paletlerine göre, MAP boyutları ise içlerine düşen yıldız sayısına göre değişmektedir; MAP'ler minimum 30 yıldız içermektedir. En düzenli ilişki **yaş**– J_z arasındadır.



1 Problem

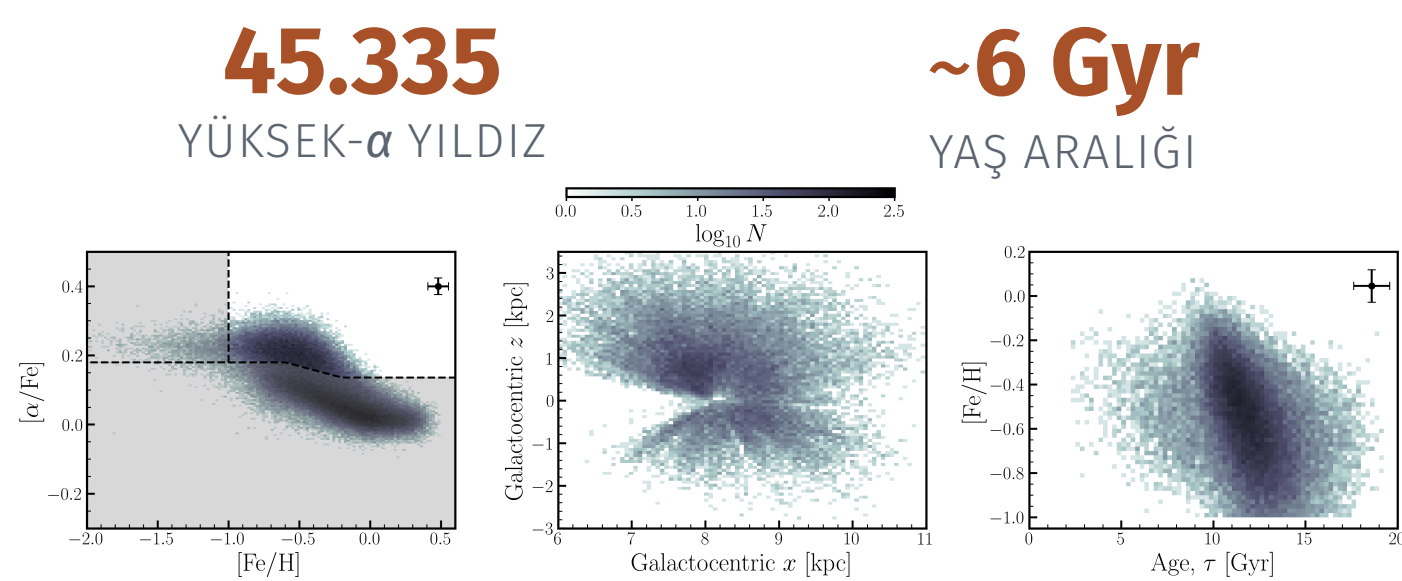
Samanyolu $[\alpha/\text{Fe}]$ – $[\text{Fe}/\text{H}]$ düzleminde iki ayrı diske sahiptir: **yüksek alfa diski** ve **düşük alfa diski**. Yüksek alfa diski eski, kinematik olarak sıcak ve alfa element bollukları açısından zengindir. Ancak nasıl oluştuğu, birleşmelerin (özellikle en büyük birleşme olayının -GES-) etkisi hâlâ tartışma konusudur.

Bu çalışmada yüksek alfa disk yıldızlarının kimyasal ve yaş yapısı anlık konumları yerine **yörünge nicelikleri** üzerinden haritalandırılmıştır: bunlar yıldızların doğum koşullarına dair belleği çok daha iyi korumaktadır.

2 Veri ve örneklem

Xiang ve ark. (2022) **LAMOST–Gaia altdev** kataloğu kullanılmıştır. Bu katalog DD-Payne bolluklarını, hassas izokron yaşlarını içermektedir. Yörüngeler galpy kütüphanesi kullanılarak Cautun (2020) potansiyeli altında hesaplanmıştır; aksiyonlar Stäckel yaklaşımıyla hesaplanmıştır.

- $S/G > 20$
- $4800 < T_{\text{eff}} < 6000 \text{ K}$, $2 < \log g < 5$
- $d < 4 \text{ kpc}$, $\sigma_d/d < 0,2$
- $\text{RUWE} < 1,2$
- $\tau/\sigma_\tau \geq 5$
- $[\text{Fe}/\text{H}] \geq -1$ ve $[\alpha/\text{Fe}]$ – $[\text{Fe}/\text{H}]$ düzleminde yüksek alfa diskte



Örneklemin kimyasal ve uzaysal dağılımı; kesikli eğri yüksek/düşük- α ayırım çizgisidir.

3 Yöntem

Her düzlem 60×60 piksele bölünmüştür; piksellerde medyan $[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\alpha/\text{Fe}]$ ve yaş gösterilmiştir. Gradyentlerin iç saçılma-dan doğmadığı hata haritalarıyla doğrulanmıştır (bkz. Makale Appendix figürleri).

Yörünge nicelikleri iki bağımsız yoldan ele alınır: potansiyel parametrelendirmesi gerektiren **aksiyonlar** ve gerektirmeyen **açısal momentum**.

4 Aksiyon uzayı

Aksiyonlar (J_R, J_ϕ, J_z) eksenel simetrik potansiyelde adyabatik değişmezdir; yörünge belleğini korurlar. Üç ortogonal izdüşümde gradyentler **düzgün ve sürekli**dir:

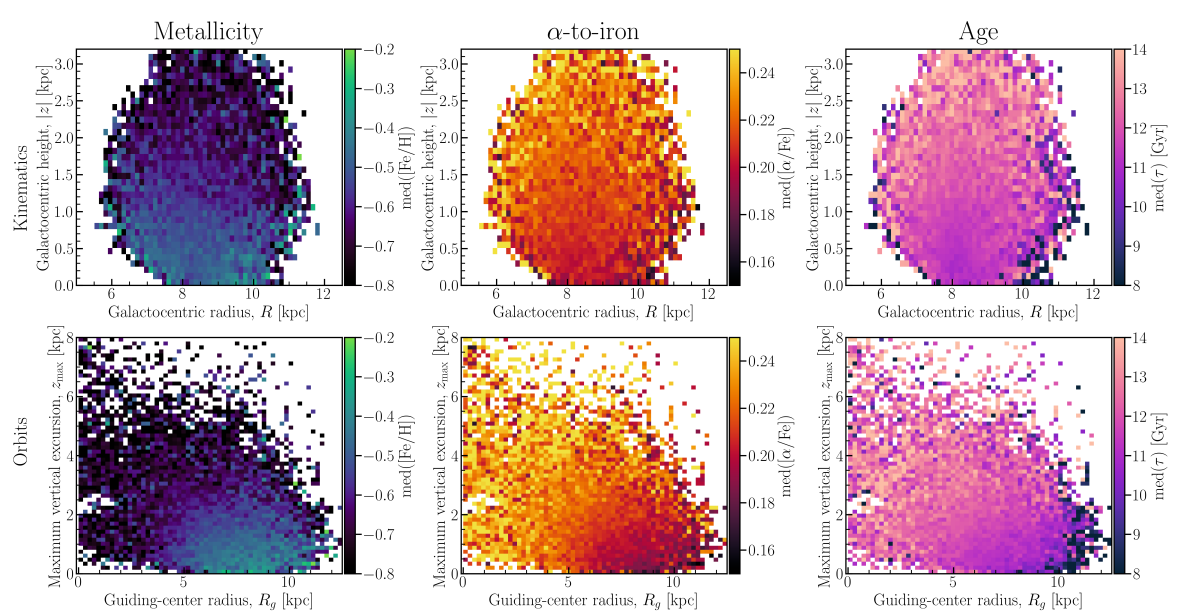
- Medyan $[\text{Fe}/\text{H}]$, artan J_R veya J_z ile **azalmaktadır**, artan J_ϕ ile **artmaktadır**: daha eliptik yörüngedeki yıldızlar metalce fakirdir.
- Medyan $[\alpha/\text{Fe}]$ tam ters yönde değişmektedir — ama dağılımın **şekli** aynıdır.
- Medyan yaş da aynı profili izlemektedir: çok salınan yörüngelerdekiler daha yaşlıdır ($\tau \sim 14 \text{ Gyr}$ 'e dek).

5 Açısal momentum

Aksiyonların aksine açısal momentum, Galaktik potansiyelin parametrelendirilmesini **gerek-tirmemekte** ve bağımsız bir sağlama sunmaktadır. Aynı gradyentler burada da görünmektedir: medyan $[\text{Fe}/\text{H}]$ ve yaş artan L_z ile, medyan $[\alpha/\text{Fe}]$ ters yönde değişmektedir. L_x – L_y düzleminde metalce zengin, alfa bollukları açısından fakir ve genç popülasyonlar — yani daha az ısınmış yörüngedekiler — merkeze toplanmaktadır.

6 Kinematik mi, yörünge mi?

Yüksek alfa yıldızları iki farklı koordinat çiftinde incelenmiştir. Kinematik düzlemde (R – $|z|$) gradyentler sığdır ve yalnızca dikey yöndedir; yörünge düzleminde (R – z_{max}) ise hem **radyal** hem **dikey** yönde net gradyentler ortaya çıkmaktadır. Yörünge uzayı ayrıca Galaksi'nin çok daha geniş bir bölgesini taramaktadır: $0 \leq R_g \leq 11 \text{ kpc}$, $z_{\text{max}} < 6 \text{ kpc}$.



Üst sıra: bugünkü konum. Alt sıra: yörünge nicelikleri. Sol-dan sağa renkler medyan $[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\alpha/\text{Fe}]$ ve yaşı göstermektedir.

7 Gradyentlerin ölçüsü

MAP-ortalamalı değerlere uygulanan ağırlıklı doğrusal regresyon, eğilimleri sayısal-laştırır. Birim: $10^3 \text{ kpc km s}^{-1}$ başına dex (bolluklar) / Gyr (yaş).

	$[\text{Fe}/\text{H}]$	$[\alpha/\text{Fe}]$	τ (Gyr)
J_z	–12,25	+2,30	+59,0
J_R	–4,44	+0,96	+23,6
$J_\perp$	–4,08	+0,83	+20,8
J_ϕ	+1,13	–0,26	–6,1
$L_\perp$	–3,96	+0,61	+16,7
L_z	–1,22	+0,25	+6,3

Tüm eğimler anlamlıdır; tek istisna L_y 'dir ($0,003 \pm 0,820$). J_R, J_z, J_ϕ eksenel simetride korunur; L_x ve L_y ise yalnızca tam küresel simetride — oluşum sinyalinin zamanla yitirirler.

8 Oluşum senaryosu

Yukarıdan-aşağıya. En düzenli yaş gradyenti dikey aksiyonda: $d\tau/dJ_z = 59,0 \pm 1,6$. Medyan yaş, $J_z \sim 20'$ 'de $\sim 10 \text{ Gyr}$ 'den $J_z \sim 100'$ 'de $\sim 14 \text{ Gyr}$ 'ye **kesintisiz** yükselmektedir. Tek ve ani bir birleşme ısıtması keskin bir süreksizlik bırakırdı.

İçten-dışa. Yaşlar $J_\phi \sim 1100'$ 'de ~ 13 – 14 Gyr 'den $J_\phi \sim 1700'$ 'de $\sim 10 \text{ Gyr}$ 'ye tekdüze azalır. Pozitif J_ϕ – $[\text{Fe}/\text{H}]$ gradyenti ($+1,13 \pm 0,10$) bu resmin doğal sonucudur.

Birleşme tarihi. GES baskın bir birleşme olayıydı bu düzeni silmesi gerekirdi. Düzenin sürüyor olması, GES'in büyük kütleli bir birleşme olmadığını ya da birleşme zamanının yüksek alfa diskin oluşumundan sonra gerçekleştiğini önermektedir.

SONUÇLAR

- Medyan $[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\alpha/\text{Fe}]$ ve yaş, yörünge uzayında kinematik diyagramlara göre **belirgin biçimde daha güçlü ve temiz** eğilimler gösterir.
- Elde edilen sonuçlar yüksek alfa diskin **yukarıdan-aşağıya** ve **içten-dışa** oluştuğunu göstermektedir.
- Sonuçlar yüksek alfa diskin büyük bir birleşme olayından etkilenmeden oluşumunu hızlı bir şekilde tamamladığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

Xiang et al. 2022, A&A 662, A66 · Cautun et al. 2020, MNRAS 494, 4291 · Bovy et al. 2012, ApJ 753, 148 · Bird et al. 2013, ApJ 773, 43 · Minchev et al. 2014, A&A 572, A92 · Martig et al. 2016, MNRAS 456, 3655

TEŞEKKÜR

TÜBİTAK 125F465 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. LAMOST ve Gaia (DPAC) veri sağlayıcılarına teşekkür ederiz.

İLETİŞİM

furkan.akbaba@ogr.iu.edu.tr
olcayplevne@istanbul.edu.tr