

SDSS-V MWM DR19 Verileriyle Samanyolu İç Halosunda Yeni Kemo-Dinamik Alt Yapıların Keşfi

12 boyutlu kemo-dinamik uzayda denetimsiz arama

Furkan Akbaba¹ Olcay Plevne²

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü · ²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü



Akbaba & Plevne 2026
PASP 138, 074101

41.928

ANA ÖRNEKLEM

2.185

EX-SITU YILDIZ

5

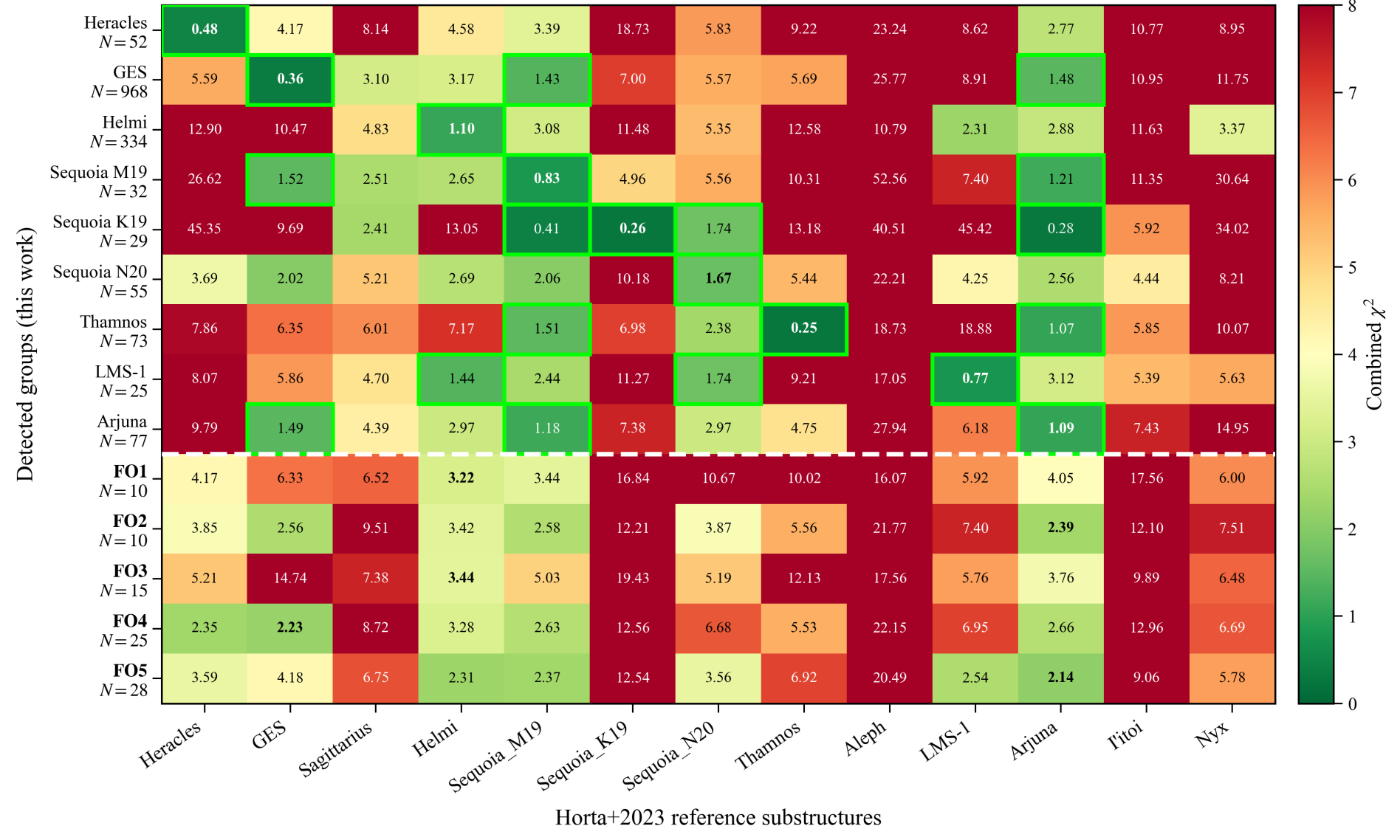
YENİ YAPI KEŞFİ

Neye benziyor, neye benzemiyor?

Satırlar bu çalışmada bulunan alt yapıları, **sütunlar** Horta ve ark. (2023) referans kataloğundaki bilinen alt yapıları gösterir. Her hücre, karşılaştırılan yapıların altı kimyasal ([Fe/H], [Mg/Fe], [Al/Fe], [Mn/Fe], [Ni/Fe], [Si/Fe]) ve altı dinamik (E_{tot} , L_z , e , Z_{max} , J_R , J_z) boyut üzerinden hesaplanan **birleşik χ^2 benzerliğidir**; koyu/yeşil hücreler en yakın eşleşme, kırmızı hücreler uyumsuzluk anlamına gelmektedir.

HDBSCAN'ın bulunduğu 74 yoğunluk tepesi birleştirildikten sonra kalan **dokuz grup**, $\chi^2_{\text{bir}} < 2,0$ eşliğiyle önceden bilinen **yedi yapıyla** uyumlu sonuç vermektedir: Gaia-Enceladus/Sausage (GES) en baskın bileşen olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun dışında Helmi Akıntıları, Sequoia, Thamnos, Heracles, LMS-1 ve Arjuna ile de uyumlu sonuçlara ulaşılmıştır.

F01–F05 satırlarında ise benzerlik eşliğinin altında kalan hiçbir hücre yoktur, beş yapı bilinen bütün alt yapılardan sistematik olarak uzakta kalmaktadır. Dodd ve ark. (2025) çalışmasında sunulan katalogla yapılan çapraz eşleştirmede de ortak yıldız bulunamamıştır. Bu sebeplerden dolayı keşfedilen bu beş yeni yapı literatüre yeni yapılar olarak kazandırılmıştır.



1 Problem

İç halo, Samanyolu'nun yaşadığı birleşme olaylarının mezarlığı gibidir, ancak burada **yörünge faz karışımı** şiddetlidir. Yani birleşmelerden gelen yıldızlar uzaysal olarak dağılmış, hareket integralleri uzayında yerinde (*in-situ*) oluşan popülasyonlarla iç içe geçmiştir. Bu yüzden **yalnızca dinamiğe** dayanan teknikler akraba olmayan yıldızları aynı ataya aitmiş gibi gösterebilir. Bu problemi çözebilmek için kimyasal bolluklar ve dinamik parametrelerini kullanan, önyargısız bir makine öğrenmesi yöntemi oluşturulmuştur.

2 Veri ve Örneklem

SDSS-V Milky Way Mapper DR19 veri setinde bulunan 1,4 milyon yıldızın kimyasal bollukları ve **Gaia DR3**'ten elde edilen astrometrik veriler birleştirilmiştir. Yıldızların yörüngeleri galpy kütüphanesi kullanılarak McMillan (2017) potansiyeli altında hesaplanmıştır.

- Kırmızı dev kolu: $3500 \leq T_{\text{eff}} \leq 5500$ K, $0 < \log g < 3,6$
- $S/G > 50$
- En iyi kalite bayraklarını sunan veri seçildi ($\text{flag}=0$)
- $d_{\odot} < 5$ kpc, $d/\sigma_d \geq 5$
- Küresel küme üyeleri veriden çıkarıldı
- Disk baskınlığını azaltmak için $e > 0,25$ koşulu uygulandı

3 Yöntem

1 • Ex-situ (dışarıdan gelen yıldızlar) seçimi — Altı kimyasal bolluk verisi kullanılarak PCA boyut indirgeme (PC1–PC3, varyansın %91'i) ve K-ortalamalar kümelemesi ($k = 4$) ile Samanyolu'na dışarıdan katılan yıldızlar seçildi (bkz. Makale Şekil 1). [Al/Fe]–[Mg/Mn] düzleminde akrete bölgeye düşen küme seçildi (medyan $e \approx 0,88$).

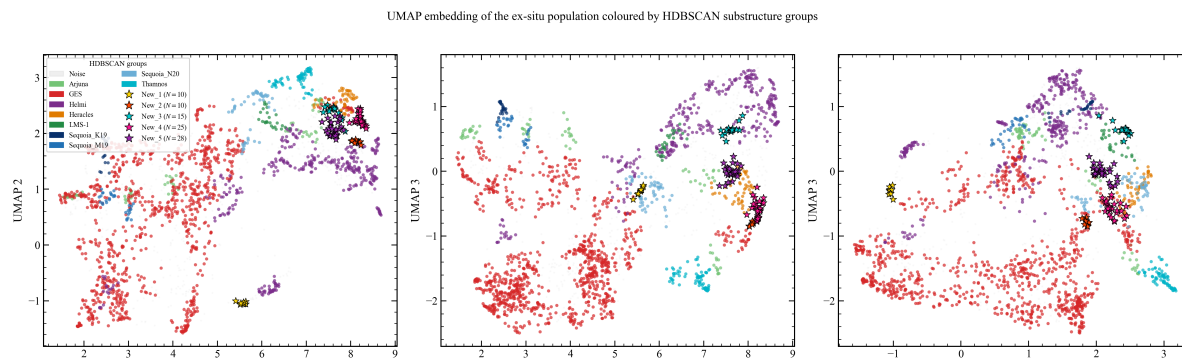
2 • 12B öznelilik uzayı — Altı kimyasal ([Fe/H], [Mg/Fe], [Al/Fe], [Mn/Fe], [Ni/Fe], [Si/Fe]) + altı dinamik boyut (E_{tot} , L_z , e , Z_{max} , J_R , J_z) kullanıldı; iki blok ayrı ayrı standartlaştırıldı.

3 • UMAP — $n_{\text{components}}=3$, $n_{\text{neighbors}}=20$, $\text{min_dist}=0.0$.

4 • HDBSCAN — $\text{min_cluster_size}=10$; küme sayısı dayatılmadı. Gruplar Horta ve ark. (2023) ile $\chi^2_{\text{bir}} < 2,0$ ölçütünde eşleştirildi.

4 Doğrulama

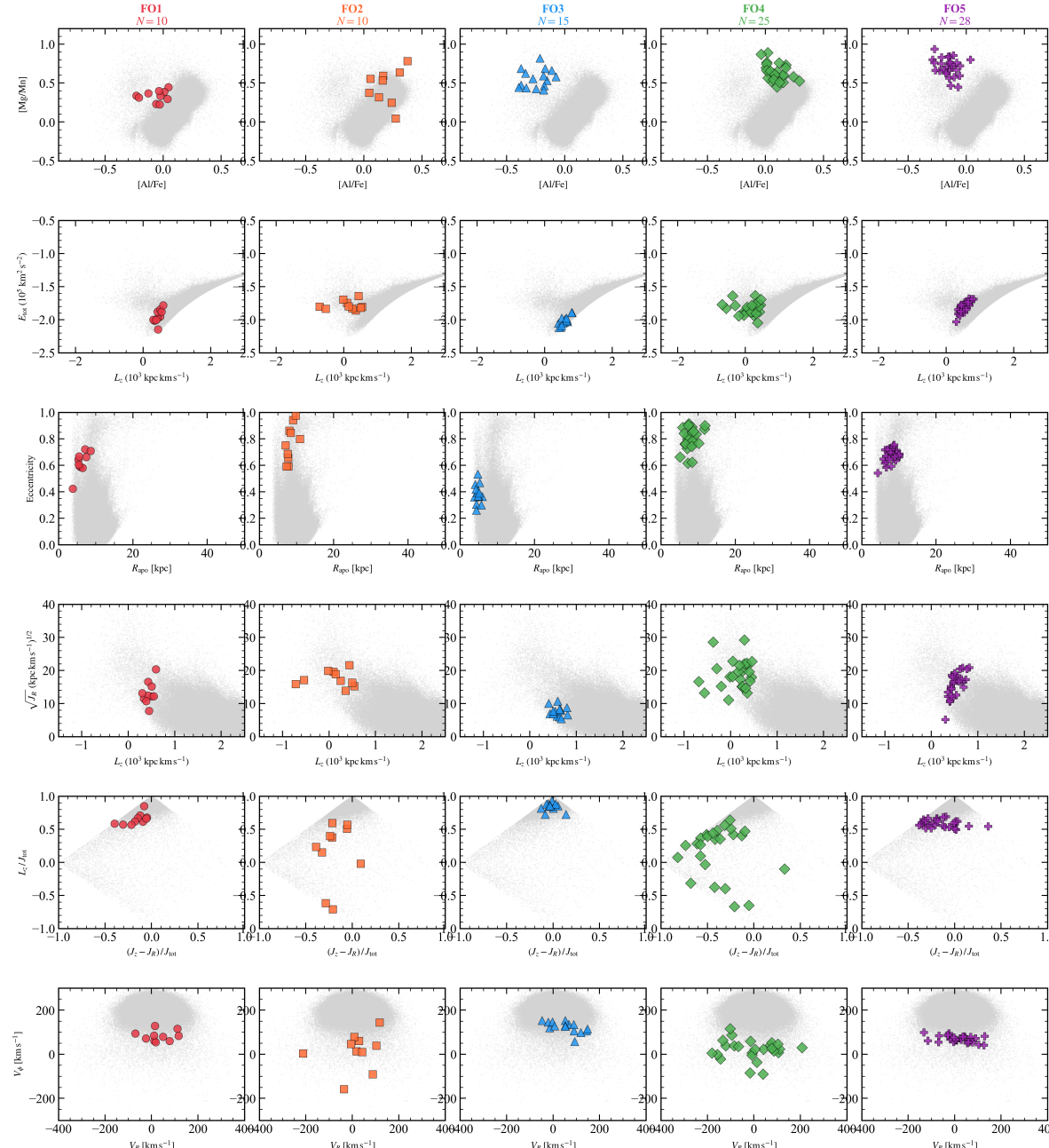
HDBSCAN kümeleme algoritması UMAP uzayında 74 yoğunluk tepesi bulmuştur. Bu tepelerin bir araya getirilmesi sonrasında **dokuz yapı, yedi bilinen alt yapıya** karşılık gelmiştir: GES, Helmi Akıntıları, Sequoia, Thamnos, Heracles, LMS-1, Arjuna (her biri için atıflar makalede mevcuttur).



Üç boyutlu UMAP haritası üzerinde HDBSCAN tarafından kümelenen yapılar renklendirilmiştir. GES ($N = 968$) baskın, Helmi Akıntıları ($N = 334$) ayırık; **F01–F05** literatürde tanımlanan alt yapılarla eşleşmemektedir.

5 Beş Yeni Yapı Keşfi

Literatürde benzeri olmayan beş yeni yapı (4 cüce galaksi – 1 küresel küme kalıntısı) yoğun olarak **akrete** bölgededir ve dinamik olarak birbirlerinden farklı özellikler taşımaktadır.



Keşfedilen yapıların farklı düzlemlerdeki dağılımları. Arkaplanda MWM DR19 dev yıldızları gösterilmektedir.

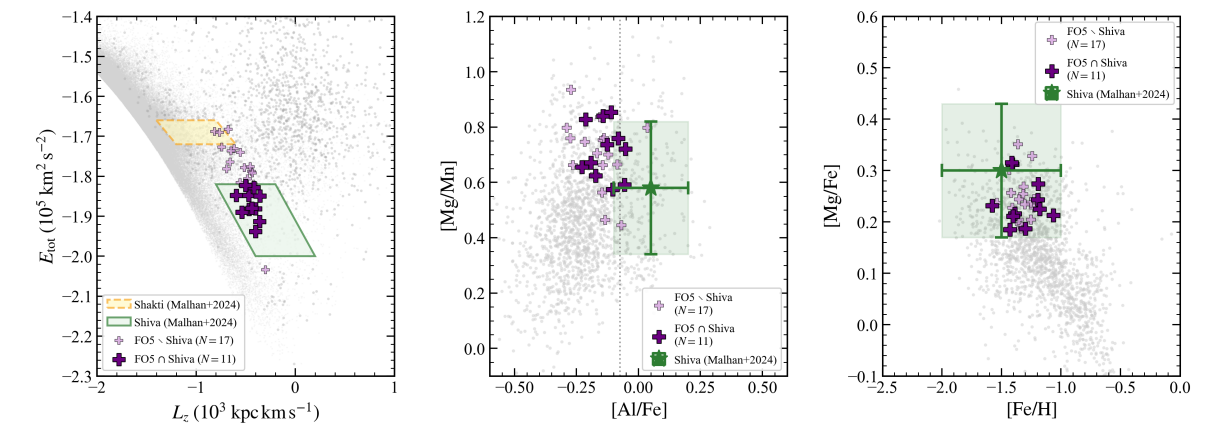
6 Yeni Yapıların Kimliği

	N	[Fe/H]	Ayrıt edici özellik
F01	10	-0,83	En metalce zengin; $Z_{\text{max}} = 1,8$ kpc, $L_z = +447$; en yüksek silüet skoru
F02	10	-1,39	[Ni/Fe] = +0,83; küresel küme ikinci jenerasyon
F03	15	-1,34	Dairesel yörünge $e = 0,38$; düşük J_R , $Z_{\text{max}} = 1,1$ kpc
F04	25	-1,06	α -zengin ([Mg/Fe]= 0,26); $E \approx -1,83 \times 10^5$ km ² s ⁻²
F05	28	-1,33	Kimyasal olarak en sıkı bağlı yapı; [Mn/Fe]= -0,46

F01, F03, F04 ve **F05** cüce galaksi kalıntılarına işaret etmektedir. **F02** ise parçalanmış ve iç haloda dağılmış kütleli bir **küresel kümeye** işaret etmektedir.

7 Kimya dinamiği çözüyor

Aynı yörünge her zaman aynı köken demek değildir, tersi de doğrudur. **F05**, Malhan & Rix (2024)'ün Shiva yapısıyla $E_{\text{tot}}-L_z$ düzleminde örtüşmektedir, ancak **düşük [Al/Fe]** imzası Shiva'nın alüminyumca zengin popülasyonu ile çelişmektedir: dinamik benzerlik farklı bir kökeni gizler. Tersine, **F03** ile Helmi Akıntıları kimyasal olarak benzeşirken dinamik olarak açıkça ayrılmaktadır.



F05 ile Shiva'nın farklı düzlemlerde karşılaştırılması.

SONUÇLAR

- Kinematik ön-seçim olmadan kurulan salt veriye dayalı kurgu, iç halodaki önceden bilinen **yedi yapıyı** eksiksiz olarak tekrar bulmuştur.
- Buna ek olarak **beş yeni sıkı bağlı yapı** bulunmuştur; bunlardan dördü istatistiksel olarak doğrulanmıştır. F02'nin azot fazlalığı ise dağılmış kütleli bir **küresel kümeye** işaret etmektedir.
- Yüksek boyutlu **kimyasal bilginin**, iç halo gibi karmaşık bir bölgede dinamik dejenerasyonları çözdüğü anlaşılmıştır.
- Samanyolu'nun en derin bölgeleri hâlâ tam olarak haritalanmış değildir.
- Bu yapılar **Gaia** verisine genişletilecek ve kimyasal evrim modelleri kullanılarak başlangıç kütleleri ve çarpma zamanı tespit edilecektir.

KAYNAKLAR

Belokurov et al. 2018, MNRAS 478, 611 · Helmi et al. 2018, Nature 563, 85 · Horta et al. 2021, MNRAS 500, 1385 · Horta et al. 2023, MNRAS 520, 5671 · Dodd et al. 2025, A&A 700, A154 · Malhan & Rix 2024, ApJ 964, 104 · McMillan 2017, MNRAS 465, 76 · McInnes et al. 2018, arXiv:1802.03426 · Campello et al. 2013, PAKDD · Kollmeier et al. 2026 · Gaia Collab. 2023, A&A 674, A1

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 125F465 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. SDSS-V ve Gaia (DPAC) veri sağlayıcılarına teşekkür ederiz.

İLETİŞİM

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