

GİRİŞ

Küresel kümeler, Samanyolu'nun oluşumu, kimyasal evrimi ve birleşme geçmişi hakkında önemli bilgiler taşıyan yaşlı yıldız sistemleridir (Harris 1996; Forbes & Bridges 2010; Massari et al. 2019). Yaş, metal bolluğu ve Galaktik merkez uzaklığı gibi temel parametreler, Samanyolu'nun farklı küresel küme alt popülasyonlarının ve oluşum süreçlerinin incelenmesinde kullanılabilir (Marín-Franch et al. 2009; Leaman et al. 2013; Massari et al. 2019).

İSTATİSTİKSEL ÇERÇEVE

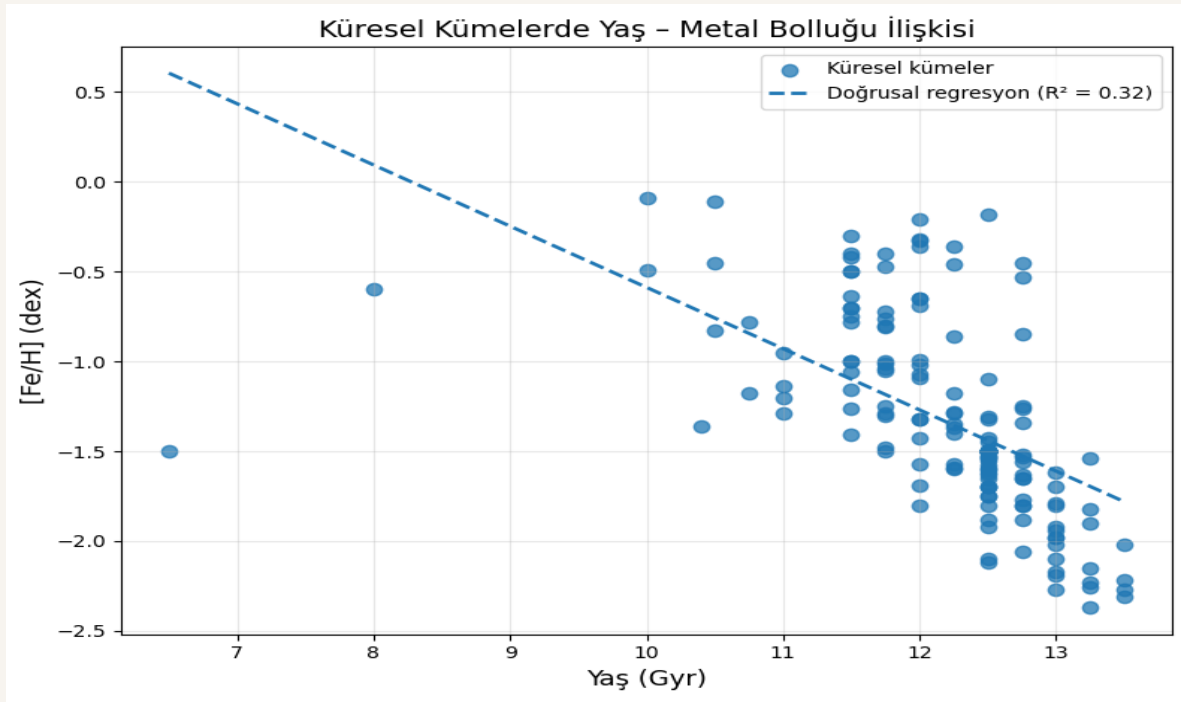
AMAÇLAR

- Yaş-metal bolluğu ilişkisini incelemek.
- Metal bolluğunun Rgc ile değişimini araştırmak.
- İç ve dış halo kümelerini karşılaştırmak.
- Doğal popülasyonları K-Means ve PCA ile belirlemek.
- Metal bolluğunu Age ve Rgc ile OLS modeliyle açıklamak.

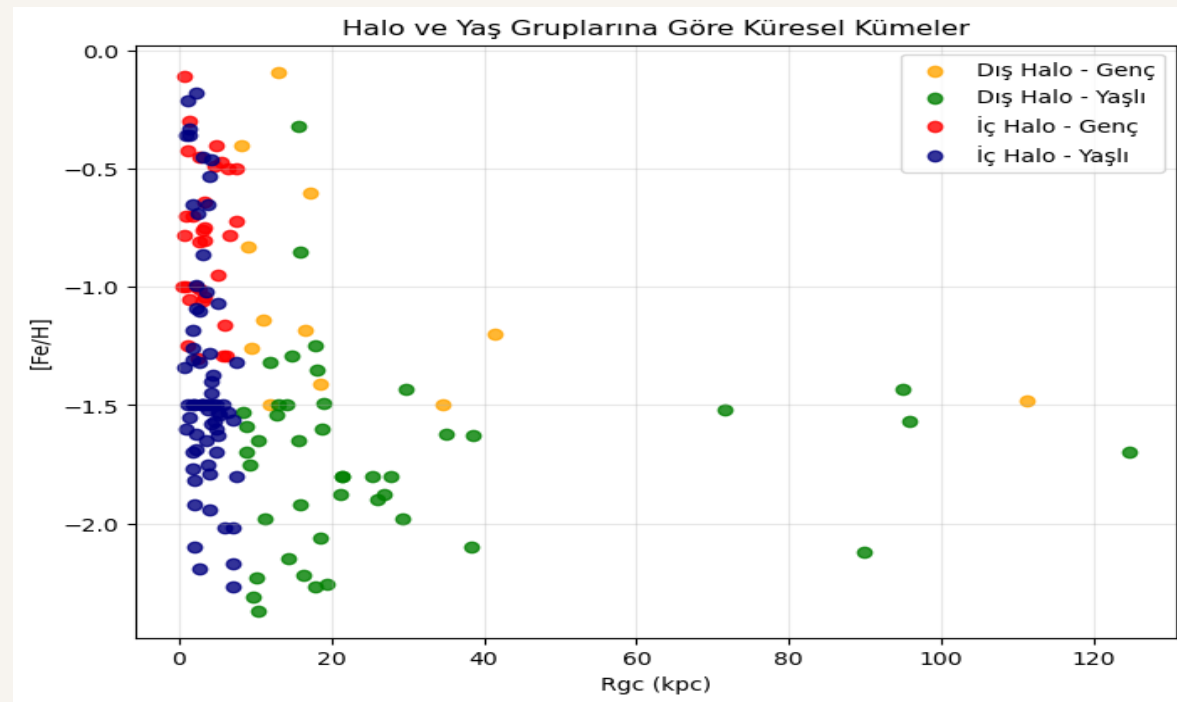
VERİ VE YÖNTEM

Literatürden, başta Harris (1996, 2010 edition), Forbes & Bridges (2010) ve VandenBerg et al. (2013) olmak üzere derlenen 154 küresel kümeye ait yaş (Gyr), metal bolluğu ([Fe/H]) ve Galaktik merkez uzaklığı (Rgc, kpc) verileri Python kullanılarak pandas ve NumPy ile düzenlenmiş; eksik değerler temizlenmiştir.

BULGULAR: HALO AYRIŞMASI

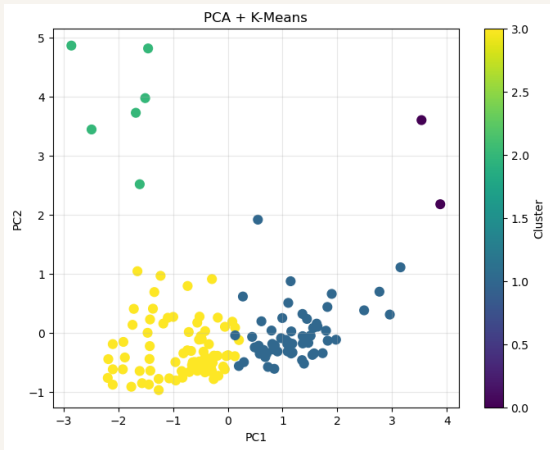


Yaş ile [Fe/H] arasında anlamlı negatif bir ilişki bulunmuştur (Pearson $r = -0.564$; Spearman $\rho = -0.757$; $p < 0.001$). Yaş arttıkça kümelerin [Fe/H] değerleri genel olarak azalmaktadır. Bu sonuç, yaşlı küresel kümelerin daha metal-fakir bir popülasyon olduğunu göstermektedir.



Gruplar Rgc = 8 kpc sınırına göre oluşturulmuştur. İç/dış halo ve yaş grupları arasında [Fe/H] dağılımları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur.

PCA VE MODEL



PC1 temel olarak yaş ve metal bolluğu eksenini, **PC2** ise Galaktik merkez uzaklığı eksenini temsil etmektedir.

PCA yükleri PC1: [Fe/H] +0.700 • Age -0.644 • Rgc -0.309
PC2: Rgc +0.916 • Age -0.401 • [Fe/H] +0.035

REGRESYON VE ÖNEM ANALİZİ

OLS modeli

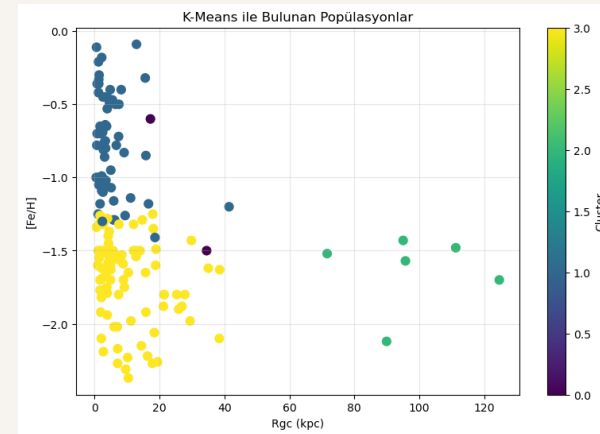
$R^2 = 0.380$
Düzeltilmiş $R^2 = 0.372$
F-testi $p < 0.001$
Age: $\beta = -0.3453$
Rgc: $\beta = -0.0065$

Özellik önemi

[Fe/H] 0.502
Age 0.313
Rgc 0.185

Çoklu doğrusal regresyon modeli, yaş ve Galaktik merkez uzaklığının metal bolluğu ile anlamlı ilişkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Model, metal bolluğundaki varyansın yaklaşık %38'ini açıklamaktadır. [Fe/H], modelde en yüksek göreceli özellik önemine sahip değişken olarak bulunmuştur (0.502). Bunu yaş (0.313) ve Galaktik merkez uzaklığı (0.185) izlemektedir.

K-MEANS İLE BULUNAN POPÜLASYONLAR



K-Means analizi sonucunda veri setinde dört farklı özellik gösteren popülasyon belirlenmiştir. Küme sayısının seçiminde Elbow yöntemi ve Silhouette analizi kullanılmıştır (Silhouette Score = 0.496). Kümeler yaş, [Fe/H] ve Galaktik merkez uzaklığı bakımından farklı özellikler göstermektedir.

Cluster	N	Ort. Yaş	Ort. [Fe/H]	Ort. Rgc
0	2	7.25	-1.05	25.85
1	60	11.63	-0.77	5.22
2	6	12.42	-1.64	98.00
3	86	12.65	-1.70	10.25

SONUÇLAR

- Yaş ile [Fe/H] arasında anlamlı negatif ilişki bulunması, yaşlı küresel kümelerin genel olarak daha metal-fakir olduğunu göstermektedir. Bu durum, kümelerin farklı kimyasal zenginleşme geçmişlerine sahip olabileceğine işaret etmektedir (Marín-Franch et al. 2009; Leaman et al. 2013).
- İç/dış halo ve yaş grupları arasında [Fe/H] dağılımlarının anlamlı biçimde farklılaşması, Samanyolu halosunun kimyasal olarak homojen tek bir popülasyon olmadığını göstermektedir. Bu farklılık, halo oluşumunda farklı oluşum ortamlarının veya farklı öncül sistemlerin rol oynamış olabileceğini desteklemektedir (Searle & Zinn 1978; Forbes & Bridges 2010; Massari et al. 2019).
- Kümelerin yaş, [Fe/H] ve Rgc bakımından farklı gruplara ayrılabilmesi, küresel küme sisteminin homojen olmadığını göstermektedir. Bu ayrışma, Samanyolu küresel kümelerinin farklı oluşum ortamları ve akresyon geçmişleriyle ilişkili alt popülasyonlar içerdiğini öne süren çalışmalarla niteliksel olarak uyumludur (Leaman et al. 2013; Massari et al. 2019).
- Özellikle yaşlı ve metal-fakir kümelerin dış Galaktik bölgelerde bulunması, Samanyolu halosunun oluşumunda erken dönem oluşum süreçlerinin yanı sıra sonradan galaksiye katılan daha küçük sistemlerin de rol oynamış olabileceğini düşündürmektedir. (Searle & Zinn 1978; Marín-Franch et al. 2009; Forbes & Bridges 2010; Massari et al. 2019).