T.C.
EGE ÜNİVERİSTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KUYRUKLUYILDIZLARIN AKTİVİTESİ VE YÖRÜNGE-AKTİVİTE İLİŞKİSİ

Cemre KULOĞLU

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melike AFŞAR

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astrofizik Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

Cemre KULOĞLU tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan "Kuyrukluyıldızların Aktivitesi ve Yörünge-Aktivite İlişkisi" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 1 Ağustos 19 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:		**İmza:**
Jüri Başkanı	**: Prof. Dr. Zeynep BOZKURT**	.....
Raportör Üye	**: Prof. Dr. Melike AFŞAR**	.....
Üye	**: Doç. Dr. Esma YAZ GÖKÇE**	.....

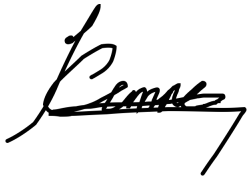
EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Kuyrukluyıldızların Aktivitesi ve Yörünge-Aktivite İlişkisi" başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

30/06/2019

İmzası



Cemre KULOĞLU

ÖZET

KUYRUKLUYILDIZLARIN AKTİVİTESİ VE YÖRÜNGE-AKTİVİTE İLİŞKİSİ

Cemre KULOĞLU

Yüksek Lisans Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melike AFŞAR

Ağustos 2019, 88 sayfa

Başta astronomi ve astrofizik olmak üzere biyoloji, arkeoloji ve jeoloji gibi birçok bilim dalının incelemesi altında bulunan kuyrukluyıldızlar; bulunduğumuz yıldız sisteminin küçük boyutlu, buzul gaz ve gezegenlerarası madde yapısı ile dikkat çeken gök cisimleridir.

Kuyrukluyıldızların Güneş ve Güneş sistemindeki diğer büyük kütleli cisimlerden kaynaklı olarak yörüngelerinde, Güneş enerjisinden kaynaklı olarak da aktivitelerinde değişikler meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında, kuyrukluyıldız aktivitesi, yörünge hareketleri ve dinamik sınıflandırmalara ilişkin literatür bilgisi derlenmiştir.

509 kuyrukluyıldıza ilişkin yörünge parametreleri ve gaz-toz üretimi gibi bilgiler toplanarak NASA JPL sisteminde bulunan sınıflandırmaları ile eşleştirilmiştir. Bu eşleştirilen veriler birbirleri ile grafik yöntemler kullanılarak karşılaştırılmış, olası ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlar daha önceki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Kuyrukluyıldız, Kuyrukluyıldız: aktivite, Kuyrukluyıldız: yörünge, Kuyrukluyıldız: sınıflandırma

ABSTRACT

ACTIVITY OF COMETS
AND ORBIT-ACTIVITY RELATION

Cemre KULOĞLU

MSc in Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Melike AFŞAR

August 2019, 88 pages

Comets are spectacular celestial objects that are of interest to many disciplines such as astronomy and astrophysics, biology, archeology and geology. They are one of the small bodies of our solar system, which are made of frozen gasses and interplanetary dust particles.

Orbits of comets are influenced by Sun and other massive bodies in the solar system, and their activities change due solar energy.. In this thesis, it is reviewed activity, trajectories and dynamical taxonomy of the comets have been studied.

Information such as trajectory parameters and gas-dust production ratios have been gathered for 509 comet observation and matched with the data provided by the NASA JPL system. Then, these data have been examined by using graphical methods and plausible relations have been investigated. The results have been compared with previous studies.

Keywords: Comet, Comet: activity, Comet: trajectory, Comet: taxonomy

ÖNSÖZ

Birçok insan gibi kuyrukluyıldızlar her zaman ilgimi çekmiştir. Aldığım astronomi öğrenimimi pekiştirmek ve ilgimi çeken bir konuda bilgilenmek amacı ile başladığım bu çalışmada yaptığım literatür taramaları sayesinde hem kuyrukluyıldızlar konusunda hem de astrofizikle ilgili bir çok alanda kendimi geliştirme fırsatı buldum.

Topladığım literatür verileri ve edindiğim bilgilerin gelecekte yapacağım çalışmalar için bir kaynak niteliğinde olduğunu düşünmekteyim.

İzmir
30/06/2019

Cemre KULOĞLU

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK i

KABUL ONAY SAYFASI iii

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI v

ÖZET vii

ABSTRACT ix

ÖNSÖZ xi

İÇİNDEKİLER xiii

ŞEKİLLER DİZİNİ xvii

TABLOLAR DİZİNİ xxiii

1. GİRİŞ 1

1.1 Kuyrukluyıldızların Genel Tarihi 1

1.1.1 Aristo dönemi 1

1.1.2 Brahe dönemi 3

1.1.3 Newton dönemi 3

1.2 Kuyrukluyıldız Keşifleri ve İsimlendirilmeleri 4

1.3 Kuyrukluyıldızların Önemi 5

1.4 Kuyrukluyıldız Çalışmaları 6

1.5 Kuyrukluyıldızların Kökeni 7

1.5.1 Kuiper Kuşağı 7

1.5.2 Oort Bulutu 8

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

2. KUYRUKLUYILDIZLARIN YAPISI 11

2.1 Çekirdek 11

2.1.1 Morfoloji 11

2.1.2 Kütle ve Boyut 13

2.1.3 İçerik 14

2.2 Koma 16

2.3 Kuyruk 17

2.3.1 Plazma Kuyruk 18

2.3.2 Toz Kuyruk 19

3. KUYRUKLUYILDIZLARIN YÖRÜNGESİ 23

3.1 Yörünge Elemanları 23

3.2 Kepler Hareket Yasaları 24

3.3 Newton Çekim Yasası ve Newton Hareket Yasaları 25

3.4 Enerji ve Yörünge 26

3.5 Yörünge Biçimi 28

3.6 Dönem 28

3.7 Tisserand Parametresi 29

3.8 Dinamik Sınıflandırma 30

4. KUYRUKLUYILDIZ AKTİVİTESİ 33

4.1 Aktivite Mekanizmaları 33

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

4.1.1 Buzların Süblimleşmesi 34

4.1.2 Şekilsiz Su Buzunun İçindeki Gazın Çıkışı 35

4.1.3 Kafeslenmiş Gazın Çıkışı 35

4.2 Gazın Kimyasal Tepkimeleri 36

4.2.1 H_2O - OH - H Dönüşümü 37

4.2.2 NH_3 - NH_2 - NH Dönüşümü 38

4.2.3 C_2 ve C_3 Oluşumu 38

4.2.4 CN Oluşumu 38

5. AKTİVİTE – YÖRÜNGE İLİŞKİSİ 39

5.1 Albedo ve Albedo - Yörünge İlişkisi 39

5.1.1 Geometrik Albedo 39

5.1.2 Bond Albedosu 40

5.2 Sıcaklık – Yörünge İlişkisi 41

5.3 Gaz Üretim Miktarı – Yörünge İlişkisi 44

5.4 Toz Üretim Miktarı – Yörünge İlişkisi ve $\boldsymbol{A(\theta)f\rho}$ Parametresi 46

6. DİNAMİK SINIFLANDIRMA-AKTİVİTE İLİŞKİSİ 49

6.1 Önceki Çalışmalar 49

6.1.1 A'Hearn Sınıflandırması 49

6.1.2 Fink Sınıflandırması 54

6.1.3 Langland-Shula ve Smith Sınıflandırması 57

İÇİNDEKİLER (DEVAM)

6.2 Çalışma Verileri 64

6.3 Analizler ve Sonuçlar 64

7. TARTIŞMA VE SONUÇ 87

KAYNAKLAR DİZİNİ 89

TEŞEKKÜR 93

ÖZGEÇMİŞ 95

EKLER .....

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Aristo'ya göre Ay ile Yer arasındaki bölgenin şematik gösterimi (Heidarzadeh, 2008). 2

Şekil 1.2 Aristo'ya göre kayan yıldız oluşumunun şematik gösterimi (Heidarzadeh, 2008). 2

Şekil 1.3 Tempel 1 kuyrukluyıldızının, darbe aracı çarptıktan 67 saniye sonra yakın geçiş aracı tarafından alınan görüntüsü (NASA/JPL-Caltech/UMD). 6

Şekil 1.4 ROSETTA tarafından alınan 67P kuyrukluyıldızının Khepry bölgesi yüzeyinin görseli (ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA). 7

Şekil 1.5 Kuiper Kuşağı'nın ve Oort Bulutu'nun Güneş Sistemindeki boyutu (Elkins-Tanton, 2006)..... 9

Şekil 2.1 67P Kuyrukluyıldızı'nın Rosetta Uzay Aracı'ndan alınan görüntüsü (ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA). 12

Şekil 2.2 Halley Kuyrukluyıldızı'nın çekirdeğinin “L” sayısına göre değişen modelleri (Rodionov, 2002). 13

Şekil 2.3 Uçucu moleküllerin suya oranla bulunma miktarları (Mumma, Charnley, 2011)..... 15

Şekil 2.4 Shoemaker-Levy 9 Kuyrukluyıldızı ve Jupiter'in fotoğraflarının birleştirilmesi ile oluşturulmuş görüntüsü (NASA/ESA Hubble Space Telescope, 1994). 16

Şekil 2.5 Kuyrukluyıldız bölümlerinin boyut karşılaştırılması (Whipple, Huebner, 1976). 17

Şekil 2.6 Kuyrukluyıldız kuyruklarının farklılaşmasını gösteren çizim (Rivkin, 2009). 18

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil 2.7 Gezegenlerarası manyetik alanın bükülmesi ve yığılmasının şematik gösterimi ve plazma kuyruğun zamanla-(a), (b), (c) ve (d)- şekillenmesi (Alfven, 1957). 19

Şekil 2.8 Toz kuyruğun şekillenmesinin gösterimi (Huebner, 1990). 20

Şekil 2.9 Arend-Roland Kuyrukluyıldızı'nın 27 Nisan 1957 tarihindeki oylumdaş, zamandaş ve gözlenen kuyruğunun karşılaştırılması (Swamy, 2010). 21

Şekil 3.1 Yörüngeyi tanımlayan parametrelerden bazıları (Swamy, 2010). 23

Şekil 3.2 Kuyrukluyıldızın yörünge parametreleri (Fernandez, 2005). 24

Şekil 3.3 Tisserand Parametresi (Spohn et al., 2014). 30

Şekil 3.4 Levison (1996) öncesi dinamik kuyrukluyıldız sınıflandırmasının şematik gösterimi. 30

Şekil 3.5 Levison'un önerdiği dinamik sınıflandırmanın şematik gösterimi. 31

Şekil 3.6 JPL üzerinde verilen kuyrukluyıldız sınıflandırmasının şematik gösterimi. 32

Şekil 4.1 Kuyrukluyıldız çekirdeğinin katmanlarının şematik gösterimi (Prialnik, 1999). 33

Şekil 4.2 Uçucu moleküllerin sıcaklığa göre süblimleşme oranları (Mukai et al., 2001) 34

Şekil 4.3 Kuyrukluyıldızda meydana gelen önemli kimyasal tepkimelerin şematik gösterimi (Huebner, 1991). 36

Şekil 5.1 Evre açısını “α” gösteren çizim (Fernandez, 2005). 40

Şekil 5.2 Kuyrukluyıldızların Güneş'e olan uzaklıklarına göre kuramsal sıcaklıkları ve gazların süblimleşme sıcaklıkları (Meech et al., 2009). 43

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil 5.3 34 kuyrukluyıldızın Güneş'e uzaklıklarına göre sıcaklıkları (Ferrin et al., 2013). 43

Şekil 5.4 İki farklı Bond albedosu ve yayma kuvvetine göre uçucuların süblimleşme miktarları ile Güneş merkezli uzaklık arasındaki ilişki (Meech ve Svoren, 2004). 45

Şekil 6.1 Gözlenen kuyrukluyıldızların yörünge özelliklerine göre dağılımı (A'Hearn et al., 1995). 50

Şekil 6.2 Üretim miktarlarının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi (A'Hearn et al., 1995). 51

Şekil 6.3 Üretim oranlarının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi (A'Hearn et al., 1995). 52

Şekil 6.4 41 kuyrukluyıldız için yapılan gaz-gaz üretim oran karşılaştırılması (A'Hearn et al., 1995). 53

Şekil 6.5 Enberi uzaklığının fonksiyonu olarak gaz-toz üretim oranları (A'hearn et al., 1995). 54

Şekil 6.6 Sınıflandırmaya ait grupları gösteren oranlar (Fink, 2009). 55

Şekil 6.7 ‰H_2O şeklinde üretim oranlarının ve $Af\rho/H_2O$ değerinin yarı büyük eksen uzaklıklarına göre grafiği (Fink, 2009). 56

Şekil 6.8 Enberi uzaklığına göre kısa ve uzun dönemli kuyrukluyıldızların gaz ve toz üretim oranları (Fink, 2009). 57

Şekil 6.9 Karbon içeren gazların Güneş'e olan uzaklığa göre üretim oranları (Langland-Shula ve Smith, 2011). 58

Şekil 6.10 Karbon içerikli olmayan gazların Güneş'e uzaklıklarına göre üretim oranları (Langland-Shula ve Smith ,2011). 59

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil 6.11 Karbon içerikli gazların Güneş'e olan uzaklığa göre üretim oranları (Langland-Shula ve Smith ,2011)..... 60

Şekil 6.12 Dinamik sınflara göre üretim oranlarının dağılımı (Langland-Shula ve Smith, 2011)..... 61

Şekil 6.13 Toz-gaz oranının dinamik sınıflara göre dağılımı (Langland-Shula ve Smith, 2011)..... 62

Şekil 6.14 Toz üretim parametresi ve toz-gaz oranının Güneş'e uzaklığa göre değişimi (Langland-Shula ve Smith, 2011)..... 63

Şekil 6.15 Toz-gaz oranının enberi uzaklığına göre değişimi (Langland-Shula ve Smith, 2011)..... 63

Şekil 6.16 Güneş'e olan uzaklığa göre toz üretim parametresindeki değişimi. Kuyrukluyıldızların verileri aynı renkteki kesikli çizgiler ile temsil edilmektedir. 65

Şekil 6.17 Toz üretim parametresinin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 66

Şekil 6.18 Toz üretim parametresinin C_2 üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 67

Şekil 6.19 Toz üretim parametresinin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 68

Şekil 6.20 CN üretiminin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 69

Şekil 6.21 1P, C/1996B2 ve C/1995O1 kuyrukluyıldızlarının Güneş'e uzaklığa bağlı olarak karbon içerikli bileşiklerinin üretiminin su buharı üretimine oranı. . 70

Şekil 6.22 C_2 üretiminin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 71

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

Şekil 6.23 NH_2 üretiminin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 72

Şekil 6.24 NH_2 üretiminin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 73

Şekil 6.25 Toz üretim parametresinin Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. 74

Şekil 6.26 Güneş'e olan uzaklığa göre C_2/H_2O oranının değişimi. 74

Şekil 6.27 Toz üretim parametresine göre C_2/H_2O oranının değişimi. 75

Şekil 6.28 Güneş'e olan uzaklığa göre NH_2/H_2O oranının değişimi. 76

Şekil 6.29 Toz üretim parametresine göre NH_2/H_2O oranının değişimi. 77

Şekil 6.30 Güneş'e olan uzaklığa göre CN/H_2O oranının değişimi. 77

Şekil 6.31 Toz üretim parametresine göre CN/H_2O oranının değişimi. 78

Şekil 6.32 Güneş'e olan uzaklığa göre C_2/CN oranının değişimi. 79

Şekil 6.33 Toz üretim parametresine göre C_2/CN oranının değişimi. 79

Şekil 6.34 Güneş'e olan uzaklığa göre NH_2/CN oranının değişimi. 80

Şekil 6.35 Toz üretim parametresine göre NH_2/CN oranının değişimi. 81

Şekil 6.36 Toz üretim parametresinin Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı. 83

Şekil 6.37 Gaz üretiminin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı. 84

Şekil 6.38 Gaz üretiminin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı. 86

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1 Kuyrukluyıldız tanımlayıcıları (Moltenbrey, 2016). 5

Tablo 2.1 Meteorik parçacıkların tipleri ve özellikleri (Davis, 2005)..... 14

Tablo 3.1 Yörünge şekillerine göre dış merkezlik ve yarı özkiriş değişimi 28

Tablo 4.1 H_2O dışındaki uçucuların çıkış mekanizmaları (Prialnik, 2002)..... 34

Tablo 4.2. Kuyukluyıldızlarda en çok bulunan beş gazın süblimleşme sıcaklıkları (Meech, 2009). 35

Tablo 4.3 Gözlenen moleküllerin olası kaynak molekülleri (Swamy, 2010). 37

Tablo 5.1 Moleküllerin kuramsal süblimleşme uzaklıkları (Meech, 2004)..... 42

Tablo 5.2 Parçacık boyut dağılım fonksiyonuna göre kütle kaybı oranları (Fink ve Rubin, 2012)..... 47

Tablo 6.1 Üretim oranlarına göre kuyrukluyıldız sınıfları..... 53

Tablo 6.2 Sınıflandırma gruplarının istatistik verileri (Fink, 2009). 55

Tablo 6.3 Yörünge ailelerine göre ortalama üretim miktarları ve oranları (Fink, 2009)..... 56

Tablo 6.4 Dinamik sınıflara göre üretim oranları (Langland-Shula ve Smith ,2011) 60

Tablo 6.5 Verilerin dinamik sınıflara göre dağılımı..... 64

Tablo 6.6 Verilerin istatistiki dağılımı..... 82

1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz Güneş sistemi; bir yıldız, sekiz gezegen, en az beş cüce gezegen ve sayısız küçük kütleli cisimden oluşmaktadır. Belirtilen küçük kütleli cisim tanımı ise; gezegenlerin uyduları, asteroidler, meteorlar ve kuyrukluyıldızlar gibi gök cisimlerini içermektedir.

Kuyrukluyıldızlar; Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA) tarafından kısaca evrenin gaz, toz ve kayalardan oluşan kar topları olarak tanımlanmaktadır. Türkçe sözlükte ise gökyüzünde zaman zaman görünen bir başı, bir veya birkaç kuyruğu bulunan, parlakça gök cismi olarak geçmektedir (Kızılırmak, 1969).

Bu tez çalışmasında kuyrukluyıldızların aktivitesi ve sınıflandırması ile ilgi bilgiler ve gözlemsel veriler literatürden derlenerek, bu iki parametre arasında ilişki olup olmadığı istatistiksel olarak araştırılmıştır. Veriler grafikler yardımıyla incelenerek, bulgular sonuç bölümünde sunulmuştur.

1.1 Kuyrukluyıldızların Genel Tarihi

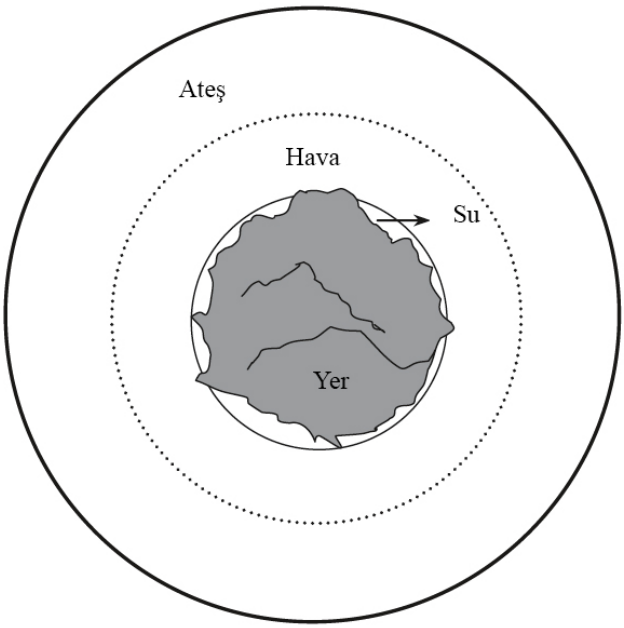
Gökyüzü insanlığın başladığı tarihten bu yana sürekli olarak incelenmektedir. Kuyrukluyıldızlar da insanlık tarihi boyunca gökyüzünde en çok merak edilen ve gözlenen nesnelerden biri olmuştur. Bununla ilgili olarak birçok çizim arkeologlar tarafından tespit edilmiştir.

Kuyrukluyıldız tarihi üç ana dönem altında incelenebilir. Bu dönemler, alt bölümlerde kısaca özetlenmiştir.

1.1.1 Aristo dönemi

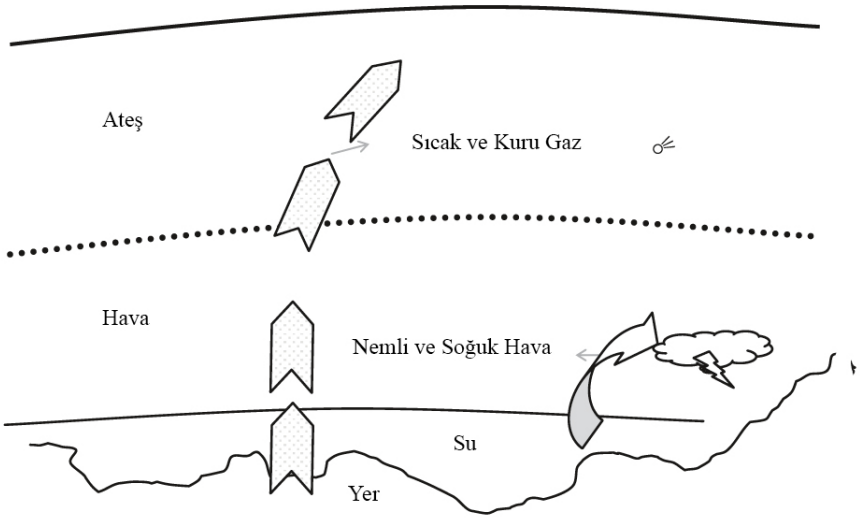
Kendi döneminden önceki inanış ve astroloji temelli yorumlardan sonra, kuyrukluyıldızlar hakkında ilk bilimsel yaklaşım Aristo tarafından “Meteorology” kitabında ortaya konulmaktadır. Bu kitapta Ay ile Yer arasındaki bölge Şekil 1.1’de gösterildiği gibi yer, su, hava ve ateşten oluşan dört katman olarak

tanımlanmaktadır. Devamında “kayan yıldız” olarak tanımladığı meteorların sebebi Şekil 1.2 üzerinde gösterildiği gibi ateş katmanına yükselen kuru ve sıcak gazın yanması olarak belirtilmiştir.



Şekil 1.1 Aristo'ya göre Ay ile Yer arasındaki bölgenin şematik gösterimi (Heidarzadeh, 2008).

Aristo, kuyrukluyıldızların hareketini, ortaya çıkışlarını ve gaz çıkışlarını dikkate alarak onları kayan yıldızların farklı birer formu halinde tanımlamaktadır.



Şekil 1.2 Aristo'ya göre kayan yıldız oluşumunun şematik gösterimi (Heidarzadeh, 2008).

1.1.2 Brahe dönemi

Aristo'nun kuyrukluyıldızlar ile ilgili kuramı 16. yüzyıla kadar büyük ölçüde kabul görmüştür. Bu kuram üzerinde zamanla küçük değişikler önerilmiştir.

Zamanının en önemli gözlemcilerinden olan Thyco Brahe, 1577 yılında parlak bir kuyrukluyıldızı uzun süreli olarak gözlediğini ve bu gözlemlerinden kuyrukluyıldızın, Yer'e Ay'dan daha uzak olduğunu hesapladığını belirtmektedir. Bu bilgiler Aristo'nun kuyrukluyıldızın konumu ile ilgili kuramını çürüterek yeni bir dönem açmıştır.

Brahe bu keşfinden sonraki kuramında, kuyrukluyıldızın maddesinin kaynağının samanyolu olduğunu, kuyruğunun ise Güneş ışınının yansıması olduğunu belirtmektedir.

1.1.3 Newton dönemi

"Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" kitabında kuyrukluyıldızlara geniş bir yer veren Isaac Newton, "Opticks" kitabı ve birkaç makalesinde de kuyrukluyıldızlara değinmiş ve kuyrukluyıldızlar için modern bilimi başlatmıştır.

Newton'un, kuyrukluyıldızlar ile ilgili irdelemeleri Principia kitabında bulunan 39. önermesinin 4. önsav bölümü "Kuyrukluyıldızlar Ay'dan daha yüksekte ve gezegenler bölgesinde hareket etmektedir." (Newton, 1846) ile başlamaktadır. Bu önsav ile Newton, kuyrukluyıldızların gökyüzündeki ileri ve geri hareketine açıklık getirmektedir.

Newton, 4. önsav bölümünü üç adet sonuç ile bitirmektedir. Bunların ilki "Kuyrukluyıldızlar, Güneş'in ışığı ile parlar." (Newton, 1846) olmuştur. Birinci sonuca bağlı olarak sunduğu ikinci sonuç kuyrukluyıldızların Güneş yöresinde daha sık görüldüğünü açıklamaktadır. Son olarak, kuyrukluyıldızların eğik yörüngelerini ve bazen gezegenlerin aksi yönünde hareket etmelerini göz önüne alarak "Cennetler -yani uzay- yöresinde direnç yoktur." (Newton, 1846) sonucuna ulaşmaktadır.

40. ve 41. önermelerde kuyrukluyıldızların yörüngelerine değinen Newton, kuyrukluyıldızların, Kepler'in ikinci yasasına uygun olarak hareket ettiğini belirtmektedir.

41. önermesinde gözlemsel verilere dayanarak kuyrukluyıldızların sıcaklıklarına ilişkin önermelerde bulunmuş, kuyrukluyıldızın Güneş'e olan yakınlığına dayanarak, kuyrukluyıldızın sıcaklığının su buharından binlerce kat daha sıcak olması gerektiğini belirtmiştir. Buna dayanarak, kuyrukluyıldızın gezegenlerden çıkan gazlar ile oluşmuş birer yapı olamayacağını, kuyrukluyıldızın merkezinin katı, yoğun ve dayanıklı olması gerektiğini belirtmiştir.

Kuyrukluyıldızın kuyruğunun oluşumu ve biçimlenmesine ilişkin olarak kuyruğun uzunluğunun Güneş'e olan uzaklık ile doğrudan ilişkili olduğunu ve kuyruğun oldukça yoğun bir buhar olduğunu önermiştir. Kuyruğun, kuyrukluyıldızın yörüngesinin Güneş'e olan doğrultusuna göre şekillendiğini belirtmiştir.

1.2 Kuyrukluyıldız Keşifleri ve İsimlendirilmeleri

Kuyrukluyıldızlar son döneme kadar genellikle amatör astronomlar tarafından keşfedilmiştir. Son dönemde ise gökyüzü taraması yapan büyük gözlemevleri tarafından kuyrukluyıldız keşifleri yapılmaktadır. Ayrıca birincil amaçlarının yanısıra kuyrukluyıldız keşfeden uydular da bulunmaktadır.

Kuyrukluyıldızlar isimlerini genellikle onları keşfeden kişilerin isimlerinden almaktadır. Bunun sebebi, bir kuyrukluyıldızın yörüngesini ve dönemini ilk kez hesaplayarak kuyrukluyıldızın bir sonraki geçiş tarihini belirleyen Edmond Halley'in isminin bu kuyrukluyıldıza verilmiş olmasıdır.

Kuyrukluyıldız keşiflerindeki artış nedeni ile isimlerinin yanısıra kuyrukluyıldızlara bir belirteç atama gereksinimi ortaya çıkmıştır. İlk başlarda kuyrukluyıldızlar isimlerinin yanında keşfedildikleri yılı ve o yıl keşfedilme sırasına göre bir harf almaktaydı. Örneğin 1961 yılında bulunan ilk ve ikinci kuyrukluyıldız, sırası ile 1961a ve 1961b belirteçlerini almaktaydı. Daha sonra ise

keşfedilme yılının yanına, kuyrukluyıldızın enberiden geçiş sıralamasına göre Roma rakamları eklendi. Örneğin 1961 yılında keşfedilen iki kuyrukluyıldızdan önce enberi noktasından geçen 1961I ve ikinci olarak enberi noktasından geçen 1961II belirteçlerini aldı. Ayrıca dönemli olduğu hesaplanan kuyrukluyıldızlara ise İngilizce "periodic" kelimesinin baş harfi olan "P" belirteci verildi.

Bu üç isimlendirmenin karışıklık yarattığı düşüncesi ile kuyrukluyıldızların isimlendirmesi, 1 Ocak 1995 tarihinden itibaren yeniden belirlenmiştir. Bu düzenlemeye göre bir yıl, 26 harfli Latin alfabesinin "I" ve "Z" harfleri dışında kalan 24 harfine bölünmektedir. Bu durumda her ayın ilk 15 günü bir harf, ikinci 15 günü bir harfe karşılık gelmektedir. Bu bölüm keşif tarihine denk gelen harften sonra da bulunma sırası sayısal olarak eklenmektedir. Örneğin 2003 yılının Şubat ayının ikinci yarısında keşfedilen üçüncü kuyrukluyıldızın belirteci 2003D3 şeklinde verilmektedir. Bu sistemde dönemli olmayan kuyrukluyıldızlar İngilizce "comet" kelimesinin baş harfi olan "C/" ve yine dönemli kuyrukluyıldızlar "P/" tanımlayıcısını almaktadır. Tanımlayıcılar Tablo 1.1'de verilmektedir.

Tablo 1.1 Kuyrukluyıldız tanımlayıcıları (Moltenbrey, 2016).

Tanımlayıcı	**Açıklaması**
P/	Dönemli kuyrukluyıldızlar
C/	Dönemli olmayan kuyrukluyıldızlar
X/	Hesaplanabilmiş yörüngesi bulunmayan kuyrukluyıldızlar
D/	Kaybolmuş veya yok olmuş dönemli kuyrukluyıldızlar
A/	Hata ile kuyrukluyıldız olarak tanımlanmış asteroidler

1.3 Kuyrukluyıldızların Önemi

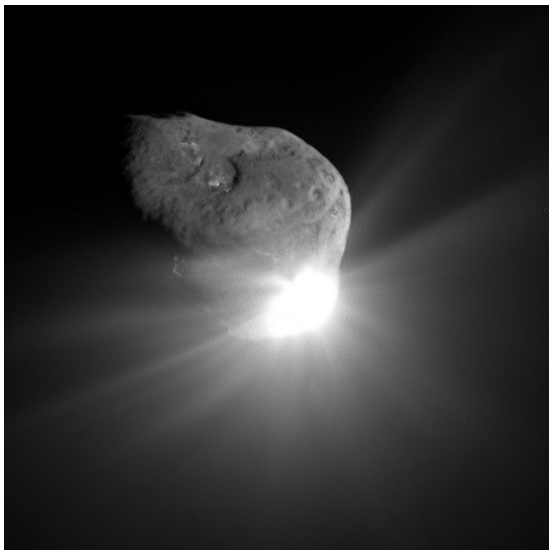
Kuyrukluyıldızlar, farklı alanlar için farklı önemlere sahiptir. Örneğin kuyrukluyıldızların kuyruklarının Güneş enerjisi ile olan ilişkisi Güneş aktivitesinin anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra Güneş sistemi oluşurken oluştuğu düşünülen kuyrukluyıldızlar, Güneş sisteminin evrimi hakkında bilgiler içermektedirler. Güneş sistemi dışından geldiği hesaplanmış olan "A/2017 U1" asteroidinin keşfi ile birlikte bu tarz küçük cisimlerin yıldızlararası ortama ilişkin bilgiler barındırabilecekleri düşüncesi de ortaya çıkmıştır.

Astronomi dışında birçok alanda da ilgi çeken kuyrukluyıldızlar, yaşamın başlangıcı ile ilgili konularda biyoloji, yeryüzü şekli ve içeriği konularında jeoloji, insanlık ve doğa tarihi konusunda arkeoloji gibi bilim dalları tarafından incelenmektedir. Farklı bilim dallarının ortak çalışmalarına olanak sağlamaktadır.

1.4 Kuyrukluyıldız Çalışmaları

Kuyrukluyıldızlar, yer ve uzay konuşlu gözlemevleri tarafından sürekli olarak tayfsal, fotometrik ve astrometrik yöntemler ile incelenmektedir. Bu çalışmaların yanı sıra kuyrukluyıldızlar için özel uzay araçları tasarlanmakta ve kuyrukluyıldızlar ile ilgili daha fazla bilgi sahibi olunmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmalar kronolojik olarak; Uluslararası Kuyrukluyıldız Kâşifi (ICE), Vega 1 ve 2, Sakigake ve Suisei, Giotto, Deep Space 1, Stardust, Contour, Deep Impact ve Rosetta şeklinde verilebilir (ESA, 2017).

Bu keşif araçları içerisinde; NASA'nın Tempel 1 kuyrukluyıldızını incelemek için göndermiş olduğu "Deep Impact" aracı kuyrukluyıldızların incelenmesi açısından büyük öneme sahiptir. Bu araç, iki parçadan oluşup, parçalardan biri kuyrukluyıldıza yakın geçiş yaparken, diğerin de Şekil 1.3'te görüldüğü gibi kuyrukluyıldıza çarptırılarak içyapısı hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

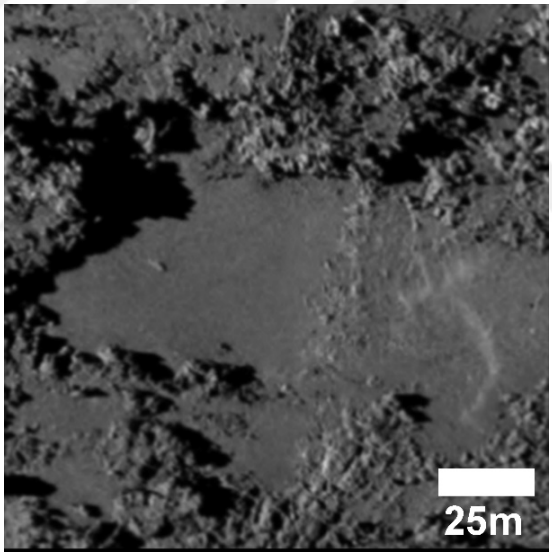


Şekil 1.3 Tempel 1 kuyrukluyıldızının, darbe aracı çarptıktan 67 saniye sonra yakın geçiş aracı tarafından alınan görüntüsü (NASA/JPL-Caltech/UMD).

Kuyrukluyıldızlar ile ilgili değinilmesi gereken bir diğer uzay aracı ise Avrupa Uzay Ajansı (ESA)'nın Rosetta uzay aracıdır. Deep Impact uzay aracı gibi iki parçalı tasarıma sahiptir. Bir araç kuyrukluyıldız yörüngesinde dolanırken, diğer aracın araştıma yapmak üzere kuyrukluyıldızın yüzeyine inmesi planlanlanmıştır. 67P/Churyumov–Gerasimenko kuyrukluyıldızı üzerinde yapılan bu araştırma, kuyrukluyıldızın yüzeyi ve birçok özelliği ile ilgili bilgiler sunmuştur (Şekil 1.4).

1.5 Kuyrukluyıldızların Kökeni

Modellemeler, kuyrukluyıldızlar gibi buzul yapıların temel olarak iki kaynaktan geldiğine işaret etmektedir: Kuiper Kuşağı ve Oort Bulutu. Bu iki bölgenin Güneş sisteminde büyük alanlar kapladığı öngörülmektedir. Şekil 1.5'te bu bölgelerin büyüklüğü temsili olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.4 ROSETTA tarafından alınan 67P kuyrukluyıldızının Khepry bölgesi yüzeyinin görseli (ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA).

1.5.1 Kuiper Kuşağı

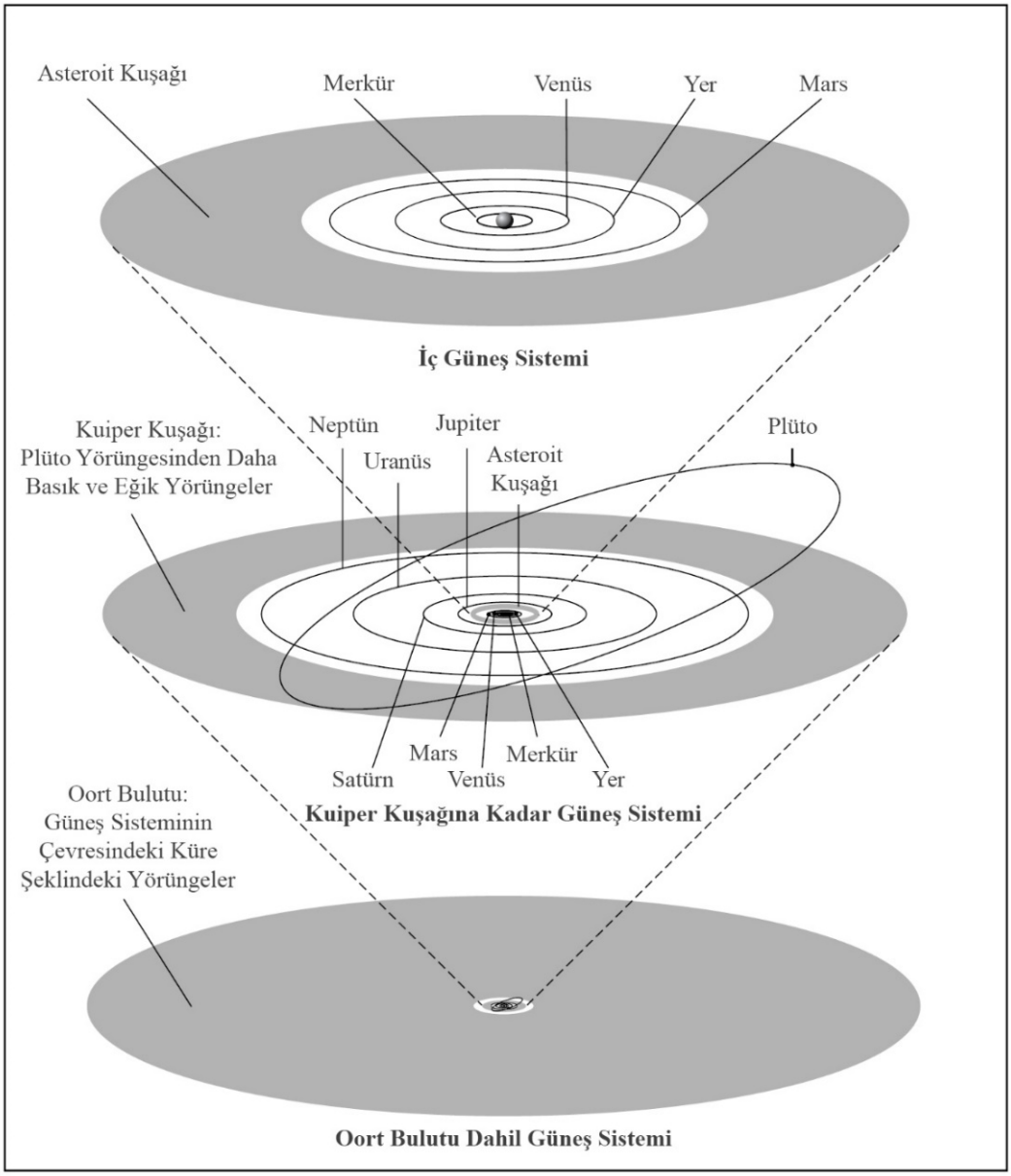
1951 yılında Gerard Kuiper, Neptün yörüngesinin dışında, gezegenlerin yörünge düzlemine yakın eğikliklerde yörüngelere sahip küçük kütleli cisimlerin kaynağı olan bir bölge olduğunu önermiştir. 1992 yılında ilk Kuiper Kuşağı cisminin gözlenmesinden sonra bu bölge Kuiper Kuşağı olarak adlandırılmıştır (Woolfson, 2000).

Bir halka şeklinde Güneş Sistemini saran bu bölge, Güneş'ten 30 astronomik birim (AB) ile 100-150 AB aralığında bir bölgeyi kapsamaktadır (Mitton, 2007). Bu bölgenin 35000'den fazla 100 km'den geniş çapa sahip cisim barındırdığı önerilmektedir (Woolfson, 2000).

1.5.2 Oort Bulutu

1950 yılında Jan Oort, dönemi çok uzun olan kuyrukluyıldızların kökenini açıklamak için çok büyük bir kuyrukluyıldız kümesinin Güneş sistemini çevrelediği fikrini öne sürmüştür (Elkins-Tanton, 2006). Bu kuyrukluyıldızların yörünge eğikliklerinin çok farklılaşmasından dolayı, bu kümenin küresel olarak sistemin etrafını sardığını belirtmiştir.

Oort Bulutu, merkezinde Güneş olan ve boyutları yaklaşık 10000 AB ile 50000 AB aralığını kapsayan kuramsal bir küre kabuğu olarak nitelendirilmektedir. Bu kabuğun içerisinde milyarlarca küçük kütleli cismin olduğu düşünülmektedir, ancak gözlemsel olarak bunu doğrulama olanağı henüz bulunmamaktadır.



Şekil 1.5 Kuiper Kuşağı'nın ve Oort Bulutu'nun Güneş Sistemindeki boyutu (Elkins-Tanton, 2006).

2. KUYRUKLUYILDIZLARIN YAPISI

Kuyrukluyıldızlar, buzul bir çekirdek, koma adı verilen bir atmosfer, bir veya birkaç toz kuyruk ve iyon kuyruk olmak üzere dört ayrı parça altında incelenmektedir.

Kuyrukluyıldızların yapısı üzerine yapılan çalışmalarda Whipple'ın (1950, 1951) kuyrukluyıldız çekirdeği ile ilgili yaklaşımları genel olarak geçerliliğini korumaktadır (Rodionov, 2002):

i. Kuyrukluyıldız çekirdeği basit moleküllerin buzul halleri ve meteorik tozun mekanik karışımından oluşmaktadır.

ii. Çekirdek, düzensiz bir küre şeklinde veya düzensiz şekillerin çekim kuvveti ile bir araya gelmesi şeklinde oluşmaktadır.

iii. Güneş ışınımına maruz kalan moleküller farklı katmanlarda süblimleşmektedir (Katı durumdan doğrudan gaz durumuna geçmek).

iv. Meteorik toz parçacıkları aşırı derecede düzensiz ve sert olarak bulunmaktadır.

v. Meteorik toz, süblimleşmiş gazın etkisi ile taşınmaktadır.

Aşağıda yer alan alt bölümlerde, bu maddeler ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.1 Çekirdek

2.1.1 Morfoloji

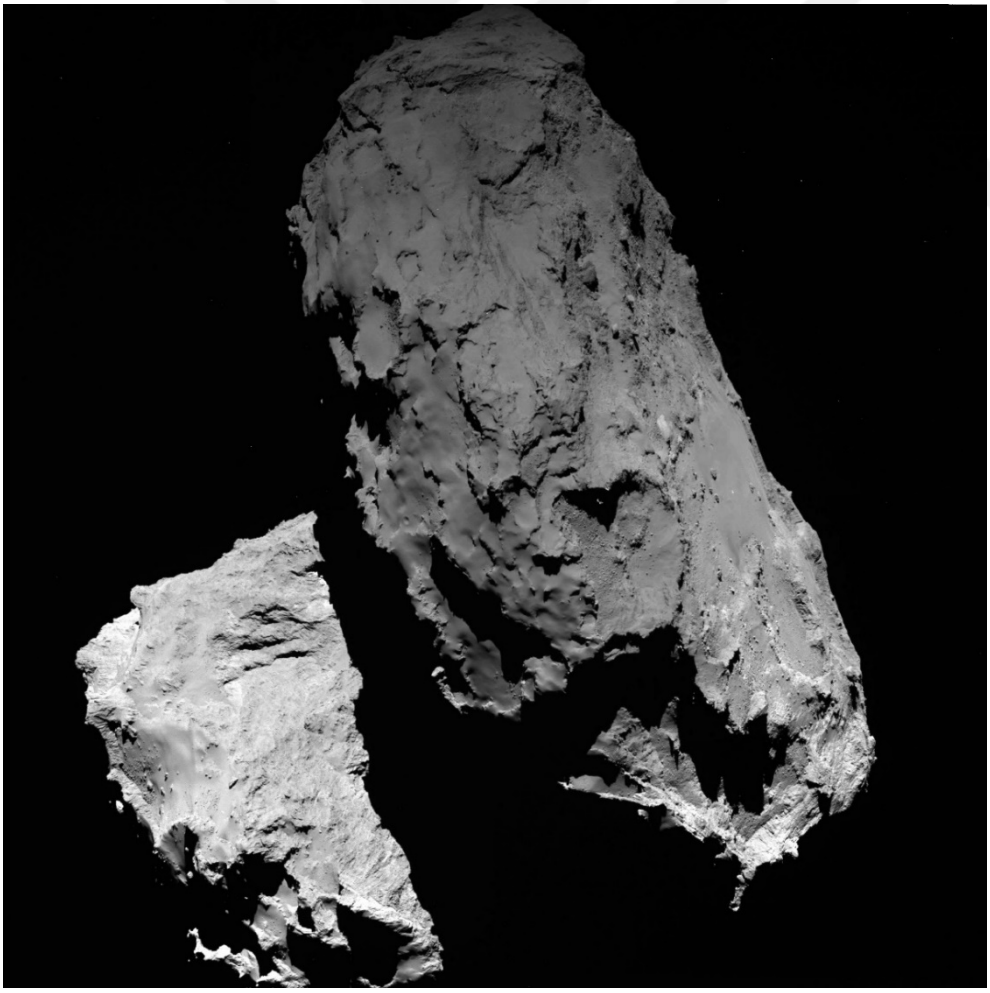
Yapılan gözlemsel ve matematiksel incelemeler, Whipple'ın ii. numaralı görüşünde yer verilen yapıya ilişkin özelliklerin doğru olduğunu göstermektedir.

Bölüm 1'de ismi geçen uzay araçlarından Vega 1, Vega 2 ve Giotto, Halley Kuyrukluyıldızı'nın çekirdeğinin görüntüsünü kaydedebilen ilk araçlar olma

özelliğine sahiptir. Bu araçların elde ettiği görüntüler sayesinde kuyrukluyıldızın çekirdeği üç boyutlu olarak modellenmiştir. Bu model incelendiğinde kuyrukluyıldızın çekirdeğinin küresel olmadığı ve oldukça düzensiz olduğu görülmektedir. Yüzeyinde vadiler, kraterler ve tepeler gibi birçok özellik de kendini göstermektedir.

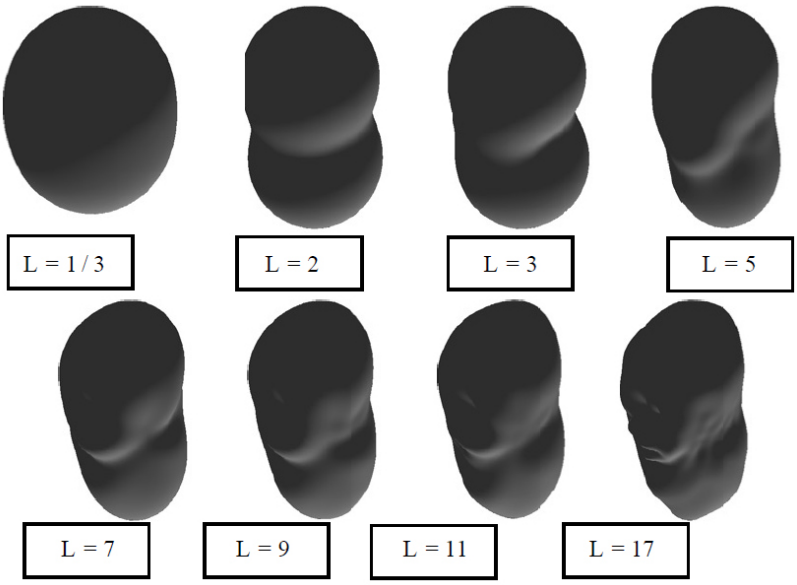
Deep Impact projesi kapsamında Tempel 1 Kuyrukluyıldızı'ndan alınan görüntüler, kuyrukluyıldızlarda katman yapılarının olabildiğini de göstermiştir. Tempel 1 Kuyrukluyıldızı'nın yüzeyinde dairesel oluşumlar da gözlenmiştir.

Rosetta Uzay Aracı'nın 67P Kuyrukluyıldızı'ndan elde ettiği görüntülerde (Şekil 2.1) kuyrukluyıldızın iki bölümden oluştuğu görülmektedir. Bu durum, kuyrukluyıldızların morfolojilerinin ne kadar farklı olabileceğini göstermektedir.



Şekil 2.1 67P Kuyrukluyıldızı'nın Rosetta Uzay Aracı'ndan alınan görüntüsü (ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA).

Gözlemler sonucunda kuyrukluyıldızların morfolojik yapıları Rastgele Gauss Küreleri olarak nitelendirilmiştir. Bu kuramsal yapı, belirli limitler içerisinde, az sayıda parametrenin rastgele olarak oluşturduğu düzensiz küreleri temsil etmektedir (Muinonen, 1996; Rodionov et al., 2002). Bu parametrelerden birisi kesit sayısı "L" olarak verilmektedir. Kesit sayısı, kuyrukluyıldızın çekirdeğinin birden fazla bölüm şeklinde oluşabileceğini göstermektedir (Şekil 2.2). Bu modelleme, Whipple'ın birden fazla şeklin birleşimi ile açıkladığı morfolojik yapıyı desteklemektedir.



Şekil 2.2 Halley Kuyrukluyıldızı'nın çekirdeğinin "L" sayısına göre değişen modelleri (Rodionov, 2002).

2.1.2 Kütle ve Boyut

Uzay araçlarının yardımı olmadan yapılan çalışmalarda, kuyrukluyıldızların boyutları, Güneş'e uzak konumda ve nokta kaynak görünümündeyken yapılan fotometrik gözlemler ile hesaplanmaktadır. Nokta kaynak halindeyken alınan ışık, albedo kaynaklı yani Güneş ışınımının yansıması ile oluşmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda kuyrukluyıldızların geniş bir çap değeri aralığında bulunabildiği hesaplanmıştır. NASA'ya ait "JPL Small-Body Database" sistemine kayıtlı kuyrukluyıldızlara bakıldığına 167P/CINEOS Kuyrukluyıldızı 66.17 km ile en büyük çapa sahipken, 147P/Kushida-Muramatsu Kuyrukluyıldızı

0.42 km ile en küçük çapa sahiptir. Kuyrukluyıldızların ortalama boyutu 6 km dolayındadır.

Kuyrukluyıldız kütlesi doğrudan incelenebilen bir nicelik değildir. Genel olarak kütle hesabı, boyut ve yoğunluk bilgileri üzerinden veya yörüngelerindeki değişimler üzerinden yapılmaktadır. Yörünge üzerindeki değişimlere bağlı olarak yapılan hesaplamalarda, kuyrukluyıldızların kütlelerinin ortalama 10^{13} kg ile $5x10^{13}$ kg arasında değiştiği bilgisine ulaşılmaktadır (Swamy, 2010).

2.1.3 İçerik

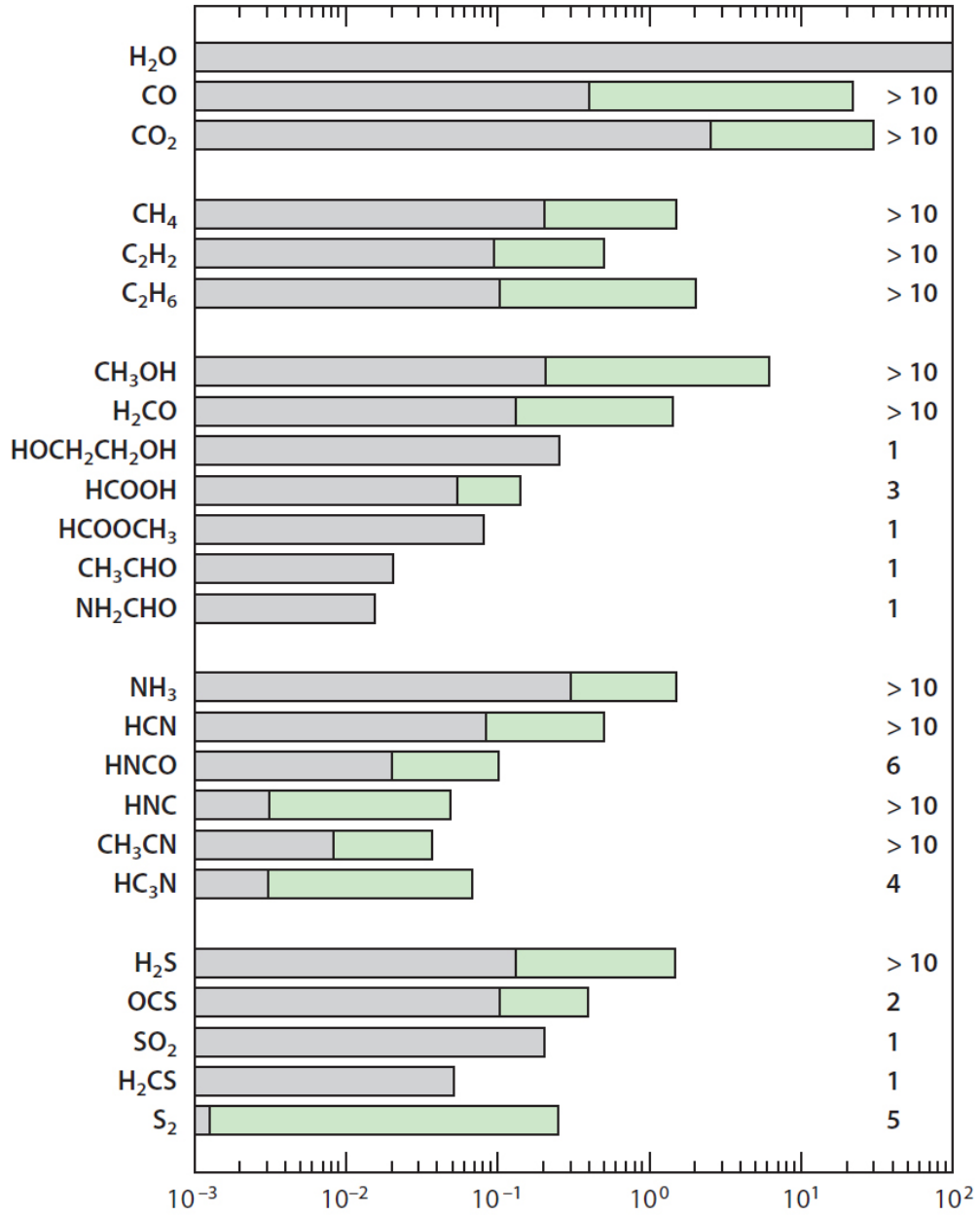
Whipple tarafından önerilen i. maddesine göre, kuyrukluyıldızlar içerisindeki madde temel olarak iki kısım altında incelenmektedir; uçucu, basit moleküllerden oluşan buzlar ve meteorik toz.

Kuyrukluyıldızların, buzul yapıları temel olarak su buzundan oluşmaktadır. Bunun yanında CO, CO_2, CH_4 ve NH_3 gibi birçok farklı molekül tayfsal gözlemler sırasında tespit edilmiştir. Bu moleküllerin, kuyrukluyıldızlarda bulunma miktarları su molekülüne oranlanmış olarak Şekil 2.3'te verilmektedir.

Toz bölümü, buzul kısma kütlece yaklaşık olarak eşittir ve parçacık boyutları birkaç μm yöresinde olan silikat, elmas, titanyum karbit gibi birçok molekülü içerir. Meteorik toz veya Güneş Sistemi öncesi parçacıklar olarak tanımlanan bu bölümün özellikleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1 Meteorik parçacıkların tipleri ve özellikleri (Davis, 2005).

Parçacık Tipi	Boyutu	Kaynağı
Elmas	2 nm	SNe
Silikon Karbit	0,1-20 μm	AGB, SNe, novae
Grafit	1-20 μm	SNe, AGB
Silikon Nitrat	0,3-1 μm	SNe, AGB
Ti-, Fe-, Zr-, Mo- Karbit	10-200 nm	SNe
Oksitler	0,15-3 μm	RG, AGB, SNe
Demir, Kamasit	10-20 nm	SNe
Olivin	0,1-0,3 μm	



Şekil 2.3 Uçucu moleküllerin suya oranla bulunma miktarları. Sağ kısımda gözlenmiş olan kuyrukluyıldız sayısı verilmektedir. Sapma miktarı ise yeşil olarak gösterilmektedir (Mumma, Charnley, 2011).

1992 yılında Jupiter'in 0.001 AB yakınından geçerken 21 parçaya ayrılan Shoemaker-Levy 9 Kuyrukluyıldızı ve 2000 yılında Güneş'e yakın geçişi sırasında birkaç parçaya ayrılan C/1999 S4 Kuyrukluyıldızı gibi örnekler, kuyrukluyıldızların kırılgan yapılara sahip olduklarını göstermektedir (Şekil 2.4).

Jupiter ve Güneş gibi kütlelerin sebep olduğu çekim kuvveti ile parçalanan kuyrukluyıldızlar, kuyrukluyıldızları oluşturan maddelerin kuvvetli bir şekilde bağlı olmadıklarını göstermektedir. Oluştukları yerler de göz önünde bulundurulduğunda, kuyrukluyıldız yapısı için kabarık ve gevşek denilebilir.



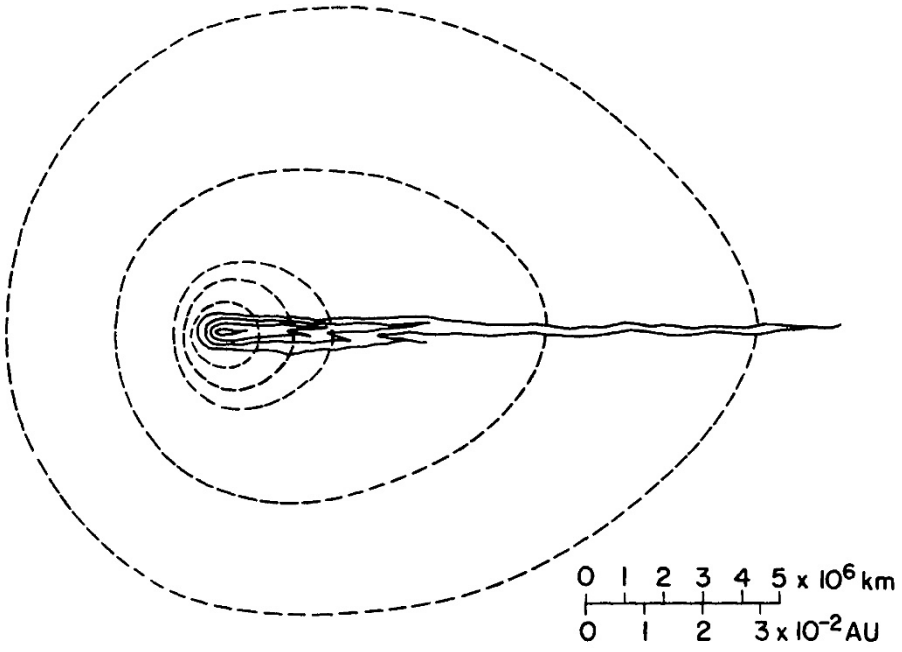
Şekil 2.4 Shoemaker-Levy 9 Kuyrukluyıldızı ve Jupiter'in fotoğraflarının birleştirilmesi ile oluşturulmuş görüntüsü (NASA/ESA Hubble Space Telescope, 1994).

2.2 Koma

Kuyrukluyıldızların atmosferi olarak da bilinen koma, 4. Bölüm'de ele alınacak olan aktivite kaynaklı gazlardan ve gazların taşıdığı tozlardan oluşmaktadır. Koma ve çekirdek birlikte kuyrukluyıldızın başı olarak nitelendirilmektedir.

Kuyrukluyıldız çekirdekleri, kendi atmosferlerini üstünde tutabilecek çekim kuvvetini oluşturmak için yeterli kütleye sahip olmadıklarından, koma, kararsız halde bir yapı olarak yorumlanmaktadır.

Koma içerisinde bulunan gazın büyük bir bölümü ayrışarak nötr Hidrojen atomları haline gelmekte veya Güneş rüzgarları tarafından iyonize halde sürüklenerek iyon kuyruğu oluşturmaktadır. Bu hidrojen atomlarının oluşturduğu koma bulutu 5-6 milyon km yöresinde yarıçaplara sahip olabilmektedir (Şekil 2.5). Bu verilere Hidrojen'in Lyman α çizgilerinin analizi ile ulaşılmaktadır.

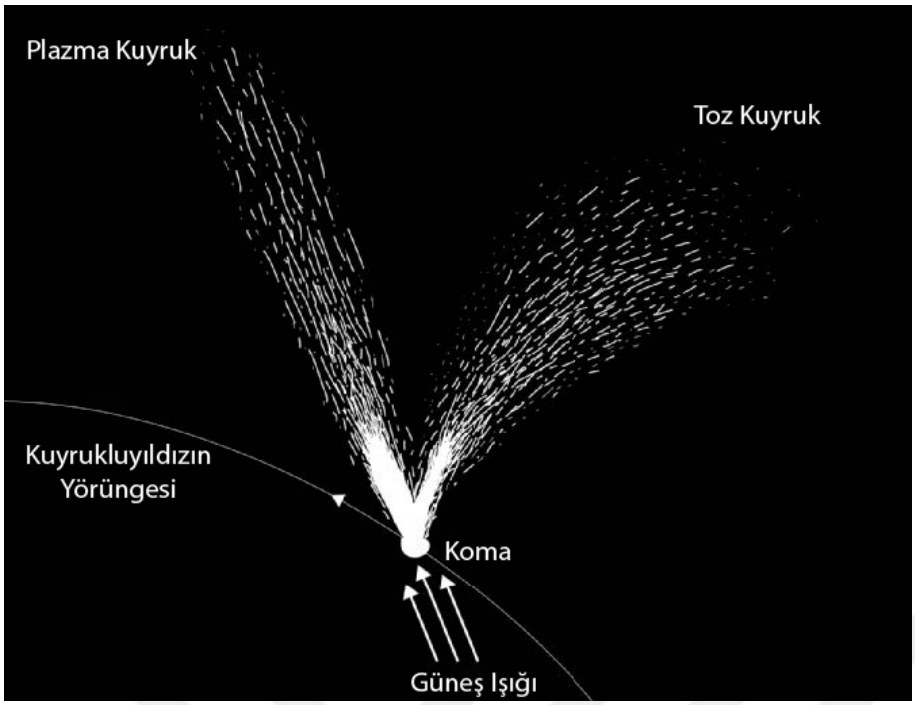


Şekil 2.5 Kuyrukluyıldız bölümlerinin boyut karşılaştırılması. Lyman α ışıması ile ölçülen izotoplara (kesikli çizgiler), genişlemiş hidrojen koma, çekirdek ve plazma kuyruğa ait görünür bölgede ölçülen izotoplara (düz çizgiler) göre çizdirilmiştir. Güneş şeklin sol tarafındadır (Whipple, Huebner, 1976).

Koma içerisinde bulunan toz parçacıklar ise ışınım basıncı ile sürüklenerek toz kuyruğu oluşturmaktadır.

2.3 Kuyruk

Kuyrukluyıldızların ismini almasını da sağlayan kuyruklar iki ana başlık altında incelenir (Şekil 2.6). Bu kuyruklardan biri, kavisli bir şekli olan ve Güneş ışığının kuyruk üzerindeki toz parçacıkları tarafından saçılması ile görünen toz kuyruktur. Diğeri ise Güneş yönünün tersi doğrultusunda oluşan, doğrusal, mavimsi iyon kuyruk veya plazma kuyruktur (Fernandez, 2005).



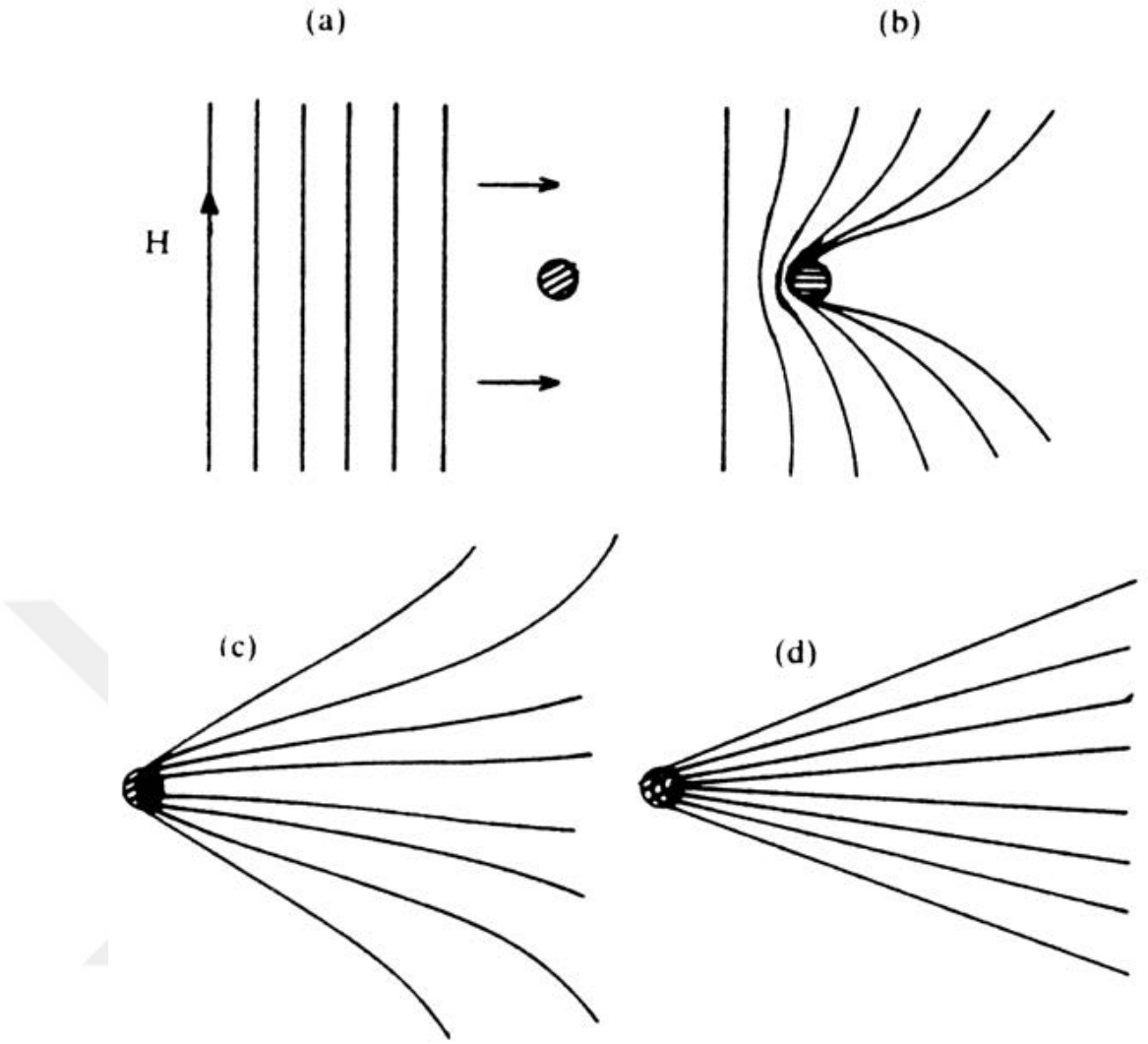
Şekil 2.6 Kuyrukluyıldız kuyruklarının farklılaşmasını gösteren çizim (Rivkin, 2009).

2.3.1 Plazma Kuyruk

Tip I olarak da verilebilen plazma kuyruk, kuyrukluyıldız tayflarında ince yapının gözlenmesinden var olduğu anlaşılan manyetik alan ile Güneş rüzgarıyla ortama atılan gazın etkileşmesi sonucu oluşmaktadır.

Plazma kuyruğun yapısı ile ilgili ilk kuramsal önerme 1957 yılında Hannes Alfven tarafından yapılmıştır (Şekil 2.7). Buna göre Güneş rüzgarının manyetik alanı, -Güneş'in UV ışınları ile iyonize olmuş- yapısında moleküller bulunduran kuyrukluyıldız ile etkileştiği zaman, bu moleküller manyetik alan kuvvet çizgileri boyunca tuzaklanıp spiral şeklinde hareket etmektedir. Tuzaklanarak manyetik alan boyunca hareket eden bu moleküller iyon kuyruğu oluşturmaktadır. Bu kuram plazma kuyruğa ait diğer modellerin de temelini oluşturmaktadır.

Tuzaklanmış iyonların neden olduğu saçılma ile görünür hale gelen plazma kuyruğun tayfında CO^+, N_2^+, CH^+ ve H_2O^+ gibi moleküllerin salma çizgileri görülmektedir. İyon kuyrukta en çok bulunan iyon olan CO^+, plazma kuyruğa mavi rengini vermektedir.



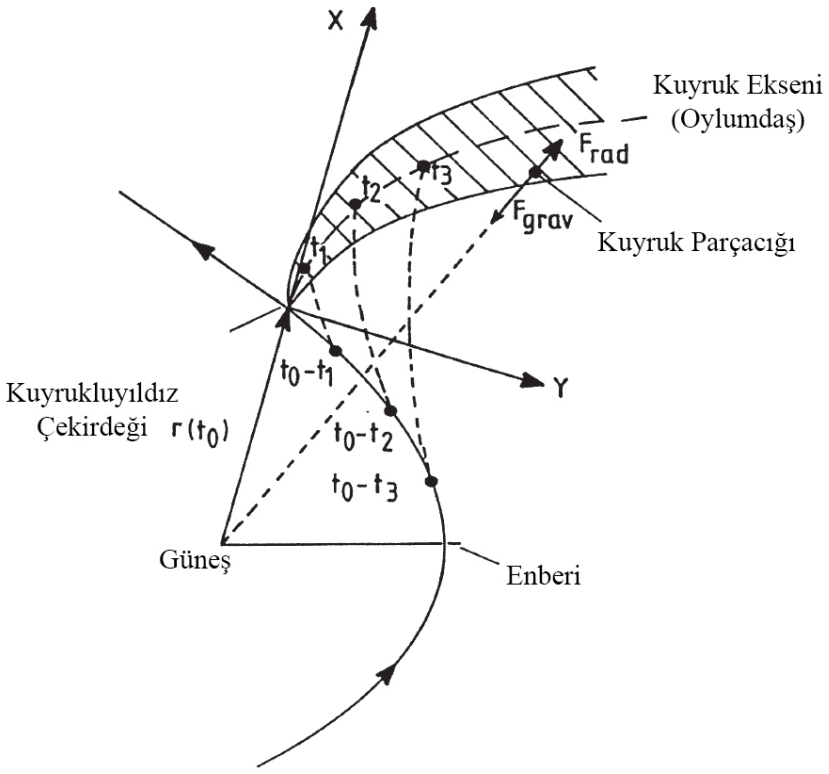
Şekil 2.7 Gezegenlerarası manyetik alanın bükülmesi ve yığılmasının şematik gösterimi ve plazma kuyruğun zamanla-(a), (b), (c) ve (d)- şekillenmesi (Alfven, 1957).

2.3.2 Toz Kuyruk

Kaynağı kuyrukluyıldızların çekirdeği olan ve gaz çıkışı sırasında kuyrukluyıldızdan dışarı sürüklenen toz parçacıkları, Güneş'in ışınım basıncı ile Güneş doğrultusunun tersi yönde sürüklenmekte ve toz kuyruğu oluşturmaktadır. Bu düşünce ilk olarak Bessel tarafından 1830'lu yıllarda ortaya konulmuştur.

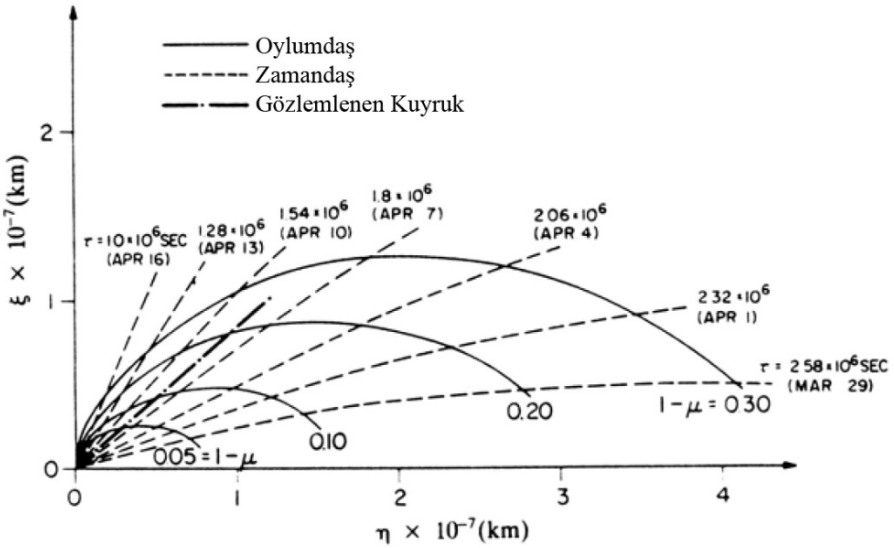
Toz kuyruğun dinamiğini anlamak için zamandaş (synchrones) ve oylumdaş (syndynes) kavramları 1903 yılında Bredikh tarafından tanımlanmıştır. Sabit boyutlu veya yaklaşık aynı boyutlara sahip toz parçacıklarının düzenli ve sürekli olarak kuyrukluyıldız çekirdeğinden dışarı çıktığı varsayımı için oylumdaş kavramı önerilmektedir. Buna göre, toz kuyruğun gözlenen şekli belirli zamanlarda yüzeye

çıkması ile oluşmaktadır (Şekil 2.8). Zamandaş kavramı ise farklı boyutlardaki parçacıkların belirli bir anda dışarı çıktıkları durumu açıklamaktadır. Parçacıkların büyüklük dağılımını da hesaplamalara ekleyerek elde edilen geometrik şekil ise zamandaş eğrisi olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.8 Toz kuyruğun şekillenmesinin gösterimi. Farklı zamanlarda çıkan tozların (t_1, t_2, t_3), gözlem anına (t_0) göre konumları. F_{rad} ışınım basıncı kuvveti, F_{grav} çekim kuvveti olarak verilmektedir (Huebner, 1990).

Gerçekçi olarak bakıldığında, toz kuyruk farklı boyutlarda hatta farklı yapılarda parçacıklar barındırmaktadır ve parçacıkların dışarı çıkış miktarları zamanın bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle toz kuyruk çalışmaları bu iki kavram arasında modellenmektedir. Bu iki kavramın gözlemsel verilerle ilişkisi Şekil 2.9 ile verilmektedir.



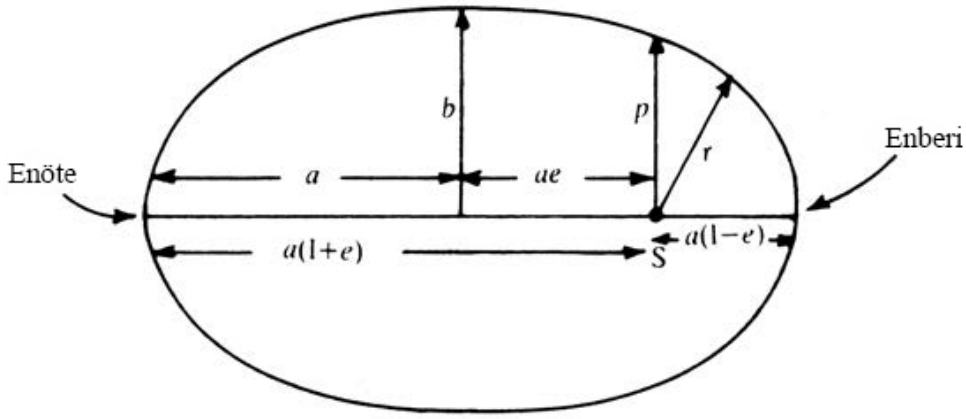
Şekil 2.9 Arend-Roland Kuyrukluyıldızı'nın 27 Nisan 1957 tarihindeki oylumdaş, zamandaş ve gözlenen kuyruğunun karşılaştırılması (η ve ξ yörünge üzerindeki yönleri göstermektedir), (Swamy, 2010).

3. KUYRUKLUYILDIZLARIN YÖRÜNGESİ

Güneş sisteminde bulunan tüm gezegenler, Kepler yasalarına göre hareket etmektedir. Bu yasalar, Newton tarafından genelleştirilmiş ve Newton çekim yasaları oluşturulmuştur. Kuyrukluyıldızlar da Newton çekim yasalarına göre hareket etmektedirler.

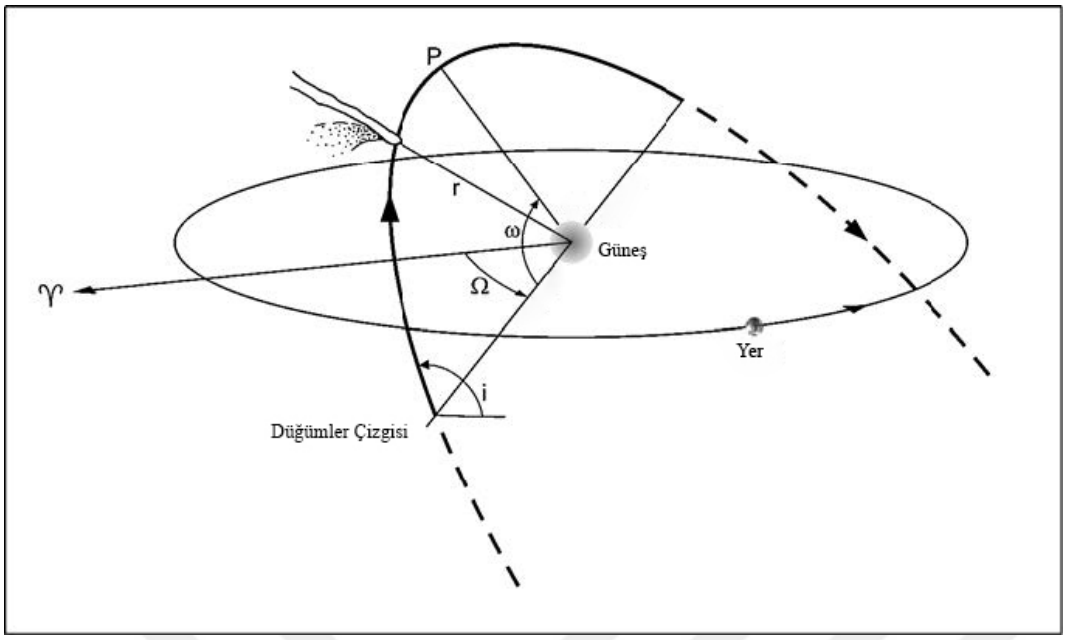
3.1 Yörünge Elemanları

Kuyrukluyıldızların yörüngesini tanımlamak için altı parametre kullanılmaktadır. Bunlardan ikisi, yörünge şeklini ve büyüklüğünü belirleyen yarı büyük eksen uzunluğu "a" ve dış merkezlik "e" olarak Şekil 3.1'de görülmektedir. Bazen bu iki parametre yerine enberi uzaklığı "q" ve yörünge periyodu "P" kullanılmaktadır. Şekil 3.1'deki "p" ise yarı-özkiriş olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.1 Yörüngeyi tanımlayan parametrelerden bazıları (Swamy, 2010).

Bunlara ek olarak Şekil 3.2'de görülebilen üç adet açısal parametre bulunmaktadır. Bunlar; yörünge eğikliği "i", enberi boylamı "ω" ve düğümler çizgisinin boylamı "Ω"'dır. Altıncı parametre ise enberiden geçiş zamanı "T_0" olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.2 Kuyrukluyıldızın yörünge parametreleri. "*P*" enberi noktasını, "♈" ise ilkbahar ılımı doğrultusunu göstermektedir (Fernandez, 2005).

3.2 Kepler Hareket Yasaları

Johannes Kepler, Tyco Brahe'nin gezegenlerin yörüngeleri üzerine yaptığı gözlemleri inceleyerek, gezegenlerin yörünge hareketlerine ilişkin üç çıkarım yapmıştır:

i. Bütün gezegenler, odaklarının birinde Güneş olan eliptik yörüngeler izlemektedir. Herhangi bir "t" anında gezegenin Güneş'e olan uzaklığı "r_h" 3.1 eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde yarı büyük eksen uzunluğu "a", dış merkezlik "e" ve gerçek ayrıklık "f" olarak verilmektedir.

$$r_h = \frac{a(1-e^2)}{1+ecosf} \tag{3.1}$$

ii. Güneş ile gezegeni birleştiren bir çizgi eşit "Δt" zaman aralıklarında eşit alanlar "ΔA" süpürür.

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = k \tag{3.2}$$

"k" her gezegen için farklı değere sahip olan bir katsayı olarak verilmektedir.

iii. Gezegenin döneminin "P" yıl olarak değerinin karesi, gezegenin yarıbüyük eksen uzunluğun "a" (astronomik birim (AU) olarak) değerinin küpüne eşittir.

$$P^2 = a^3 \tag{3.3}$$

3.3 Newton Çekim Yasası ve Newton Hareket Yasaları

Newton, Principia kitabında yeryüzündeki ve gökyüzündeki cisimlerin hareketini matematiksel olarak tanımlamaktadır. Kepler yasalarını göz önünde bulundurarak yaptığı bu tanımlalar içinde evrensel çekim yasası yer almaktadır. Bu yasa için m_1 kütleli bir cismin anlık olarak r_1 konumunda olduğu ve anlık hızının $v_1 = dr_1/dt$ olduğu varsayımı ile momentumu $p_1 = m_1 v_1$ olarak verilir. dv_1/dt'lik ivme, F_1 net kuvveti tarafından oluşturulmaktadır. F_1 kuvveti, Newton'un aşağıda verilen ikinci hareket yasası ile tanımlanmaktadır.

$$F_1 = \frac{d(m_1 v_1)}{dt} \tag{3.4}$$

Newton'un çekim yasasına göre m_2 kütleli r_2 konumundaki bir cismin, birinci cisme uyguladığı çekim kuvveti (3.5) numaralı denklem ile verilmektedir.

$$F_1 = -\frac{G m_1 m_2}{r_{12}^3} r_{12} = -\frac{G m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} \tag{3.5}$$

Bu denklemde "r_{12}" 1 numaralı cismin 2 numaralı cisme göre uzaklığını belirtmektedir. "G" evrensel çekim sabitini, "$\hat{r}_{12}$" ise r_{12} yönündeki birim vektörü göstermektedir.

Newton'un üçüncü çekim yasasına göre; her etkinin, kendisine eşit büyüklükte ve tersi yönde bir tepkisi bulunmaktadır. Bu bilgi iki cisim etkileşimini tek cisim olarak irdelemeye izin vermektedir. Buna göre;

$$\frac{d(m_2 v_2)}{dt} = F_2 = -F_1 = \frac{G m_1 m_2}{r_{12}^2}\hat{r}_{12} \tag{3.6}$$

olur. (3.4) ve (3.6) eşitlikleri kullanılarak,

$$\frac{d(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{dt} = F_1 + F_2 = 0 \tag{3.7}$$

sonucu elde edilir. Bu durum sistemin toplam doğrusal momentumunun korunumlu olduğunu göstermektedir. Böylece sistemin kütle merkezinin sabit hızla hareket ettiği sonucuna varılmaktadır.

3.6 denklemi m_1, 3.5 denklemi m_2 ile çarpılıp iki eşitlik birbirinden çıkartıldığında,

$$\mu_r \frac{d^2 r_{12}}{dt^2} = \mu_r \frac{d^2(r_1 - r_2)}{dt^2} = -\frac{G \mu_r M}{r_{12}^2}\hat{r}_{12} \tag{3.8}$$

elde edilir. Bu denklemde $\mu_r = m_1 m_2/(m_1 + m_2)$ indirgenmiş kütle $M = m_1 + m_2$ ise sistemin toplam kütlesidir. Buna göre, göreli hareket indirgenmiş kütlenin, kütle merkezi etrafında dolanması olarak ifade edilebilir.

3.4 Enerji ve Yörünge

μ_r kütleli bir cismi r yarıçaplı bir çember yörüngede v_c hızı ile tutmak için gereken merkezcil kuvvet $\mu_r v_c^2/r$ olarak verilmektedir. Bu merkezcil kuvveti M kütleli bir kütle merkezinin çekim kuvvetinin oluşturduğunu düşünürsek v_c açısal hızı 3.9 denklemi ile verilir,

$$v_c = \sqrt{\frac{GM}{r}}. \tag{3.9}$$

Bu durumda sistemin korunumlu toplam enerjisi E, potansiyel enerji E_P ve kinetik enerjinin E_K toplamı aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$E = E_P + E_K = \frac{1}{2}\mu_r v^2 - \frac{GM\mu_r}{r}. \tag{3.10}$$

Eğer toplam enerji $E < 0$ ise sistemin potansiyel enerjisi kinetik enerjisinden büyüktür. Bu sistemin bağlı olduğu ve cismin, kütle merkezi etrafında eliptik bir yol izlediği anlamına gelmektedir. Eğer sistemin kinetik enerjisi potansiyel enerjisinden daha büyük ise toplam enerji $E > 0$ olmaktadır. Bu durumda yörünge matematiksel olarak bir hiperbol olarak karşımıza çıkmaktadır. Son olarak kinetik enerji ve potansiyel enerjinin birbirlerini dengelemesi durumunda, $E = 0$, yörünge parabolik çıkmaktadır.

Yukarıda verilen ve çember yörüngeler için olan enerji hesabı, Kepler yasalarında belirtildiği üzere eliptik yörüngelere uyarladığında, kinetik enerji, potansiyel enerjinin yarısı olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda enerji denklemi 3.11 ile gösterilir,

$$E = -\frac{GM\mu_r}{2r}. \tag{3.11}$$

Eliptik yörüngeler için yarıçap "r" yerine yarı büyük eksen uzunluğu "a" kullanırsak denklem

$$E = -\frac{GM\mu_r}{2a} \tag{3.12}$$

şeklinde yazılabilir.

3.5 Yörünge Biçimi

Daha önceden belirtildiği üzere yörünge şeklini sistem enerjisinin belirlediği bilinmektedir. Enerjisine göre belirlenen yörüngeler eliptik, parabolik veya hiperbolik olabilmektedir. Bu yörüngeler için (3.1) denkleminin genel hali (3.13) denklemi ile verilmektedir.

$$r = \frac{p}{1 + ecosf} \tag{3.13}$$

Bu denklemdeki "r" ve "f" (3.1) denkleminde tanımlandığı gibidir. Genellenmiş dış merkezlik "e" ve yarı özkiriş "p" olmak üzere yörünge türlerine göre değer aralıkları Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1 Yörünge şekillerine göre dış merkezlik ve yarı özkiriş değişimi (Enberi ayrıklığı "q" ile gösterilmektedir.)

	Elips	**Parabol**	**Hiperbol**
Dış merkezlik	$e < 1$	$e = 1$	$e > 1$
Yarı özkiriş	$p = a(1 - e^2)$	$p = 2q$	$p = q(1 + e)$

3.6 Dönem

Parabolik ve hiperbolik yörüngelerin aksine bağlı yörüngeler olan eliptik yörüngeleri izleyen cisimler, yörüngeleri üzerinde aynı noktadan belirli aralıklarla düzenli olarak geçerler. Aynı noktadan art arda geçiş için gereken süre yörüngenin dönemi olarak adlandırılır. Dönemle yarı büyük eksen uzunluğu arasındaki ilişkinin genel ifadesi, Newton çekim ve hareket yasaları dikkate alındığında, aşağıdaki gibi verilir:

$$P^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GM}. \tag{3.14}$$

3.7 Tisserand Parametresi

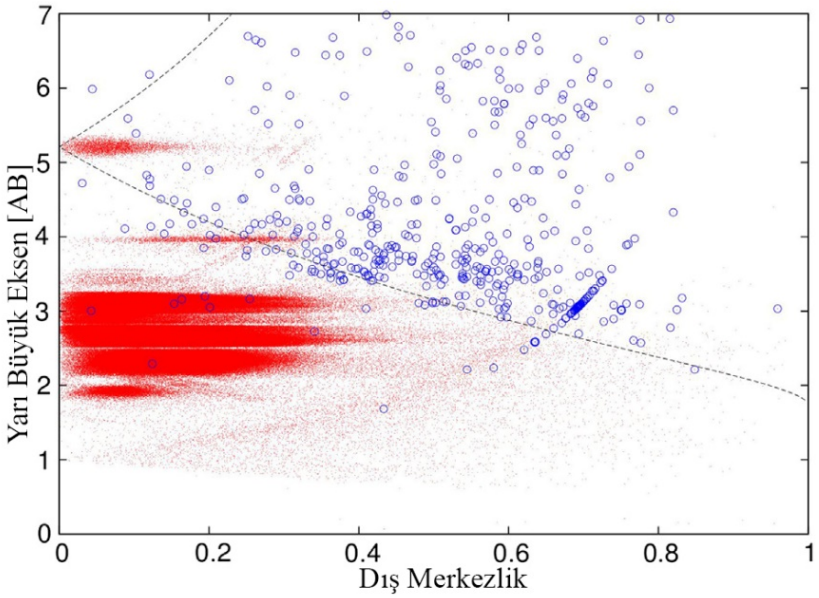
Bu dinamik nicelik Fransız astronom Felix Tisserand tarafından ortaya konulmuştur (Carusi, ve Kresak, 1995). Bu nicelik, Güneş Sistemi içerisinde hareket eden küçük kütleli bir cismin, gezegenler ile etkileşmesinden kaynaklı olan yörünge değişimlerinden bağımsız olarak hesaplamaların yapılmasını sağlamaktır.

Kısıtlanmış üç cisim probleminin Jacobi integrallerinden gelen Tisserand Parametresi (T), Güneş sistemi içerisinde Güneş'ten sonra en büyük kütleli cisim olan Jupiter temel alınarak hesaplanmakta olup, her gezegen için ayrı ayrı belirlenebilmektedir (Fernandez, 2005).

$$T = \frac{a_j}{a} + 2\sqrt{\frac{a}{a_j}(1-e^2)}\cos i \qquad (3.15)$$

Yukarıdaki denklemde Jupiter'in yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğu "a_j" ile verilmektedir. Tisserand parametresi hesaplanacak cismin yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğu "a", dış merkezliği "e" ve yörünge eğikliği "i" ile verilmektedir.

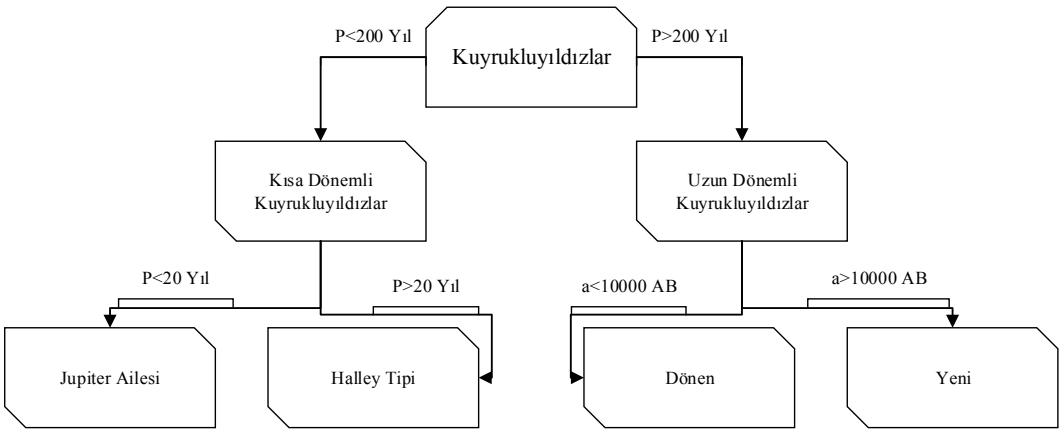
Tisserand parametresi asteroidler ve kuyrukluyıldızları kabaca birbirinden ayırmak için de kullanılabilmektedir. Tisserand parametresi için $T = 3$ limit değeri çoğu durumda ayırıcı olarak kabul edilmektedir. Kuyrukluyıldızlar için parametrenin $T < 3$, asteroidler için $T > 3$ olması beklenmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Tisserand Parametresi. Kesikli çizgiler $T = 3$ durumunu göstermektedir. Kırmızı noktalar bilinen asteroidleri ve mavi daireler bilinen kuyrukluyıldızları göstermektedir (Spohn et al., 2014).

3.8 Dinamik Sınıflandırma

Geleneksel olarak kuyrukluyıldızlar dönemlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma iki temel grup altında toplanır. Dönemi $P > 200$ yıldan uzun olan kuyrukluyıldızlar uzun dönemli, dönemi $P < 200$ yıldan kısa olan kuyrukluyıldızlar ise kısa dönemli olarak sınıflandırılır.

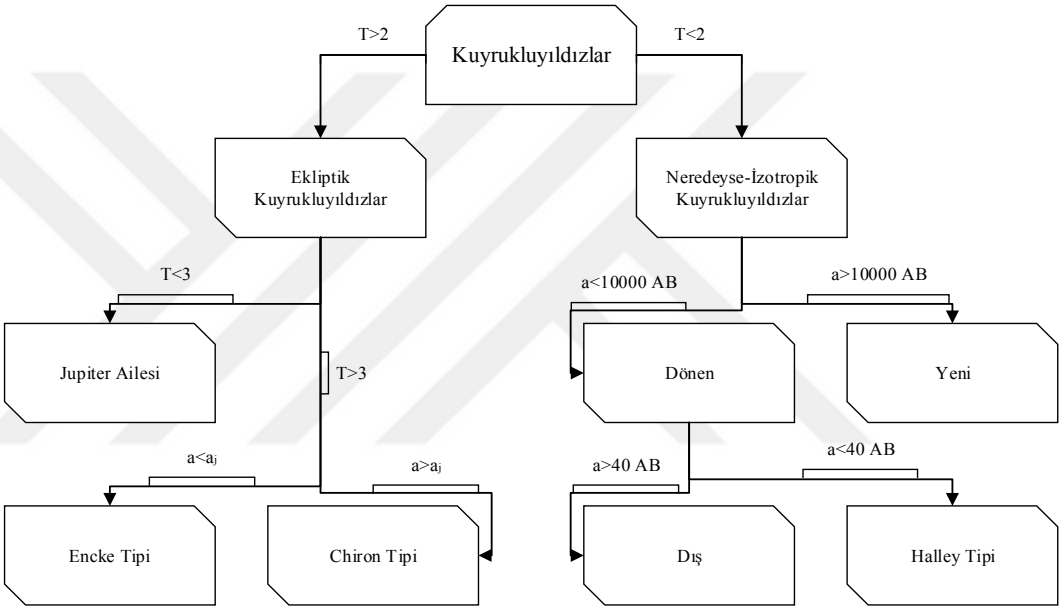


Şekil 3.4 Levison (1996) öncesi dinamik kuyrukluyıldız sınıflandırmasının şematik gösterimi.

Zamanla bu iki grup içlerinde ikişer gruba ayrılmıştır. Kısa dönemli kuyrukluyıldızlar için dönemi $20 < P < 200$ yıl aralığındakiler Halley Tipi kuyrukluyıldızlar, $P < 20$ yıl olan kuyrukluyıldızlar ise Jupiter Ailesi

kuyrukluyıldızlar olarak adlandırılmıştır. Uzun dönemli kuyrukluyıldızlar ise yörüngelerinin yarı büyük eksen uzunluklarına göre; $a > 10000\,AB$ olanlar Yeni kuyrukluyıldızlar, $a < 10000\,AB$ olanlar ise Dönen kuyrukluyıldızlar olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.4).

Levison, Carusi'nin Tisserand parametresi ve kuyrukluyıldızlar ile ilgili istatistiksel çalışmasından yola çıkarak 1996 yılında yeni bir sınıflandırma önermiştir. Bu sınıflandırma, fiziksel bir parametre olan Tisserand parametresini temel almaktadır.

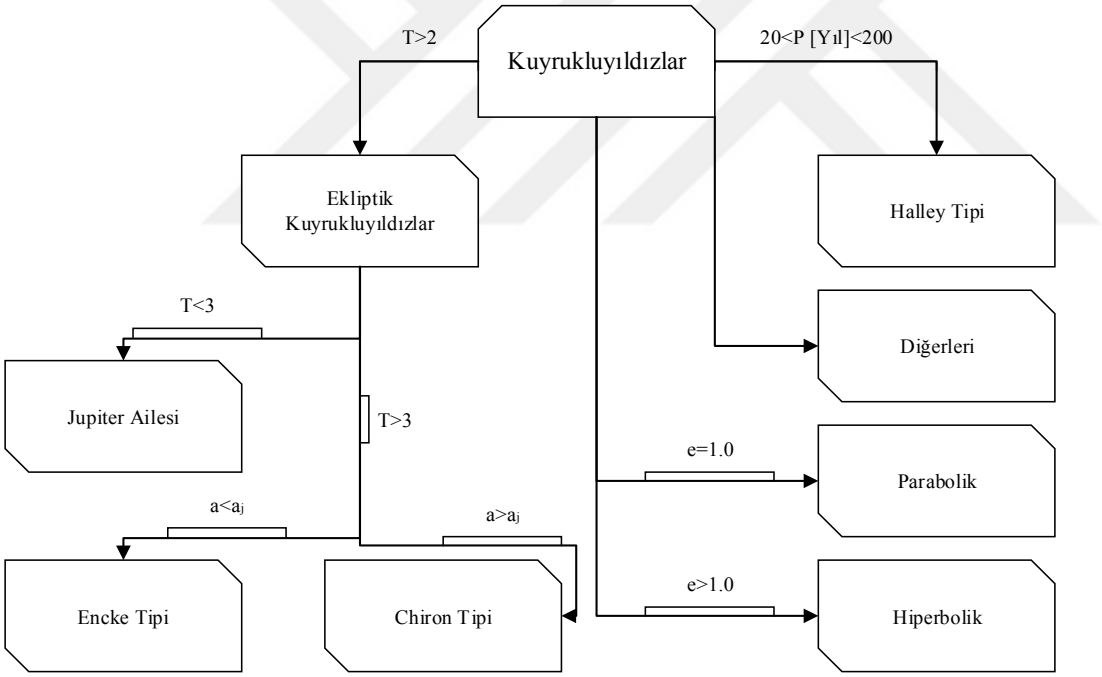


Şekil 3.5 Levison'un önerdiği dinamik sınıflandırmanın şematik gösterimi.

Önerilen bu yeni sınıflandırmaya göre Tisserand parametresi $T > 2$ olan kuyrukluyıldızlar ekliptik kuyrukluyıldızlar olarak genellenmektedir. Bu ekliptik kuyrukluyıldızların Tisserand parametresi $2 < T < 3$ aralığında olanlar Jupiter Ailesi olarak özelleşirken, $T > 3$ olanlar ise yörünge yarı büyük ekseni Jupiter'in yörüngesinin yarı büyük ekseninden büyük veya küçük olmasına göre sırası ile Chiron tipi veya Encke tipi olarak özelleşmektedir. Tisserand parametresi $T < 2$ olan kuyrukluyıldızlar Neredeyse-İzotropik kuyrukluyıldızlar olarak genellenmektedir. Bu kuyrukluyıldızlardan yörünge yarı büyük eksen uzunluğu $1000\,AB$'nin altında olanlar Dönen kuyrukluyıldızlar, üstünde olanlar ise Yeni kuyrukluyıldızlar olarak nitelendirilmektedir. Dönen kuyrukluyıldızlar ise

40 AB'den büyük ya da küçük yörünge yarı büyük eksen değerlerine sahip olmalarına göre sırası ile Dış kuyrukluyıldızlar ve Halley tipi kuyrukluyıldızlar olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 3.5).

Bu tez çalışmasında, NASA'nın "Jet Propulsion Laboratory (JPL)" bölümüne ait küçük cisimler veritabanı kullanılmıştır. Bu veritabanı, yukarıda verilmiş olan iki sınıflandırmadan bölümler ve yapılmış olan eklemeler ile farklı bir dinamik sınıflandırmaya sahiptir. Şekil 3.6'da şematik olarak verilen bu sınıflandırma Levison (1996) öncesi dönemden Halley Tipi kuyrukluyıldız tanımlamasını alırken, Levison'un sınıflandırmasından ekliptik kuyrukluyıldızlar bölümünü almaktadır. Bölüm 3.5'de verilmiş olan parabolik ve hiperbolik yörüngelere sahip olan kuyrukluyıldızları da yörünge şekillerine göre sınıflandırmaktadır. Bu gereklilikleri sağlamayanlar ise diğer kuyrukluyıldızlar olarak sınıflandırılmaktadır.



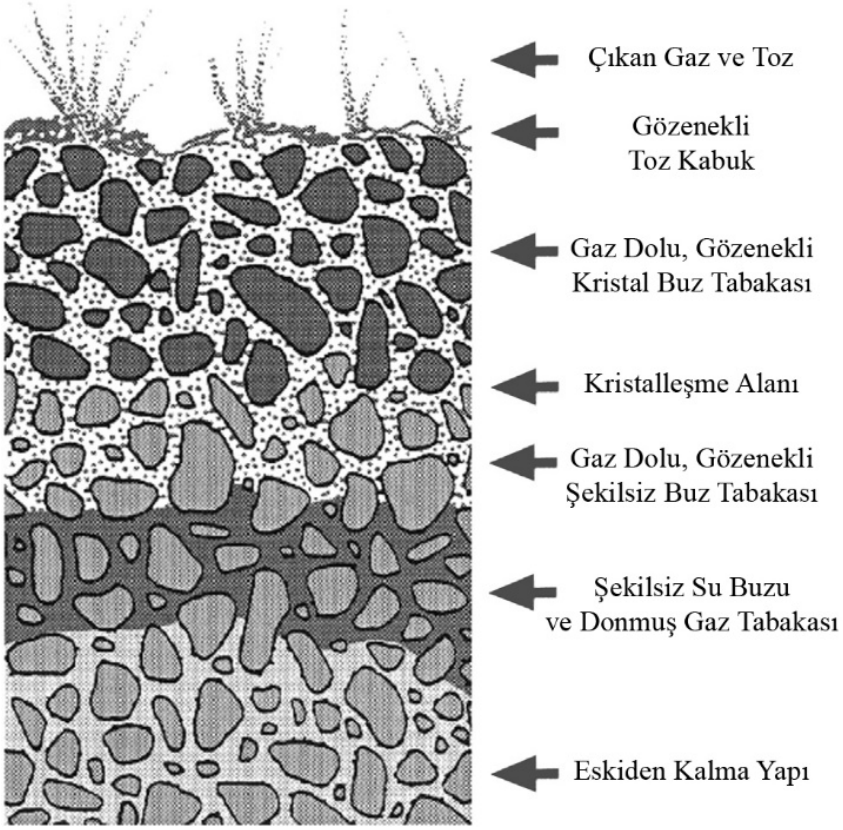
Şekil 3.6 JPL üzerinde verilen kuyrukluyıldız sınıflandırmasının şematik gösterimi.

4. KUYRUKLUYILDIZ AKTİVİTESİ

Kuyrukluyıldız aktivitesi fikri Bölüm 2'de verilen Whipple'ın modeline dayanmaktadır (Belton, 2010). Bu modele göre kuyrukluyıldız çekirdeği içerisindeki buzul maddeler Güneş ışınımına maruz kaldıklarında süblimleşmektedir. Bu olay temel olarak kuyrukluyıldız aktivitesi olarak adlandırılmaktadır.

4.1 Aktivite Mekanizmaları

Kuyrukluyıldız aktivitesi için iki farklı mekanizmadan söz edilmektedir. Bunlardan ilki, süblimleşme sıcaklığına ulaşan buzul yapıda çekirdek içeresinde bulunan materyallerin süblimleşmesidir. İkincisi ise, şekilsiz su buzu içerisinde sıkışmış olan gazın faz değişimi sırasında salınması olarak verilmektedir (Capria, 2002). Moleküller Şekil 4.1 üzerindeki konumlarına ve Tablo 4.1'de verilen özelliklerine göre aktiviteye katkıda bulunmaktadır.



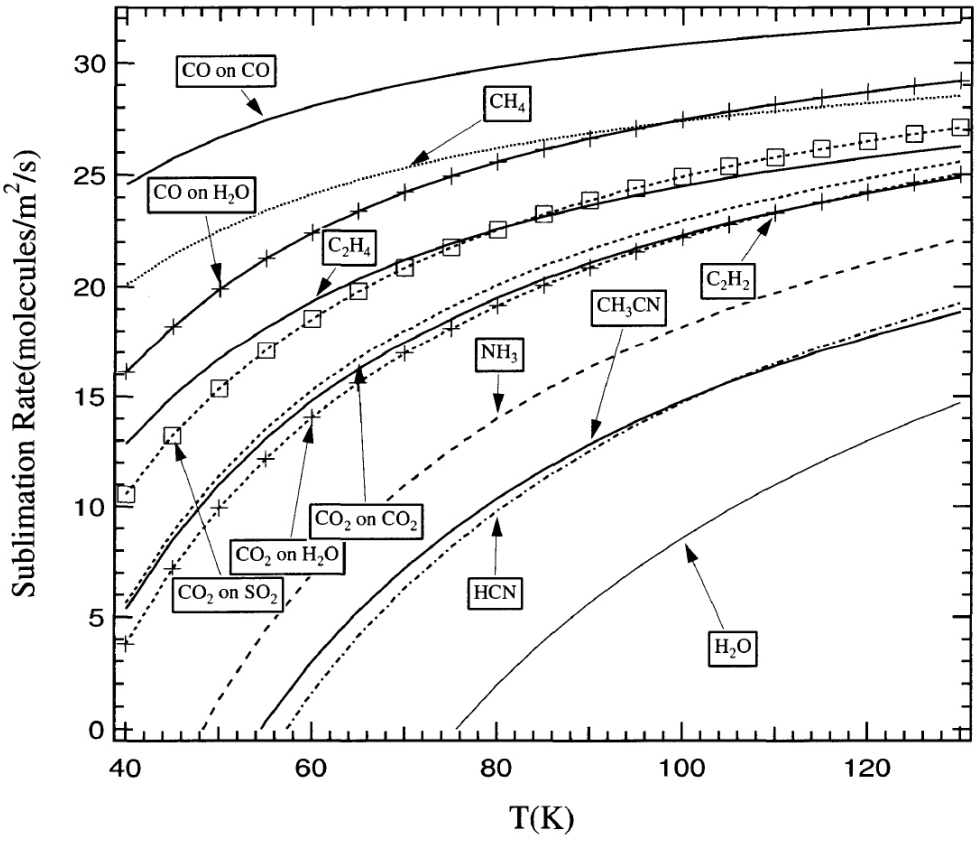
Şekil 4.1 Kuyrukluyıldız çekirdeğinin katmanlarının şematik gösterimi (Prialnik, 1999).

Tablo 4.1 H_2O dışındaki uçucuların çıkış mekanizmaları (Prialnik, 2002).

Hal	Mekanizma	Sıcaklık Aralığı [K]
Buzul	Süblimleşme	$\sim 20 - 100$
Tuzaklanmış	Kristalleşme	$\sim 120 - 140$
Kafeslenmiş	H_2O Süblimleşmesi	> 180

4.1.1 Buzların Süblimleşmesi

Daha önce de belirtilmiş olduğu gibi; Güneş ışınımı ve kazanılan enerji, başta H_2O olmak üzere uçucu maddelerin çekirdek yüzeyinden çıkmasını sağlamaktadır. Bu çıkışın miktarı, büyük oranda buzun süblimleşme alanına taşınan Güneş kaynaklı enerjinin miktarına bağlı olarak değişmektedir. Süblimleşme alanlarındaki gazların süblimleşme durumları ise çok büyük oranda Tablo 4.2 ile verilen maddelerin süblimleşme sıcaklıklarına ve süblimleşme alanının ortalama sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4.2 Uçucu moleküllerin sıcaklığa göre süblimleşme oranları (Mukai et al., 2001).

Belirli uçucular için birim alandaki süblimleşme oranlarına ait kuramsal eğriler ise Şekil 4.2'de görülmektedir. Burada sıcaklığa bağlı olarak süblimleşme sonucu ortaya çıkan moleküllerin üretim oranlarının değişimi de dikkate alınmaktadır.

Tablo 4.2. Kuyukluyıldızlarda en çok bulunan beş gazın süblimleşme sıcaklıkları (Meech et al., 2009).

Molekül	**Süblimleşme Sıcaklığı [K]**
H_2O	160
CO	25
CO_2	80
CH_3OH	99
H_2CO	64

4.1.2 Şekilsiz Su Buzunun İçindeki Gazın Çıkışı

Su buzu, sıcaklığa ve basınca bağlı olarak farklı hallerde bulunabilmektedir. Yer'de sadece kristal halde bulunmakta olan su buzu, astrofiziksel koşullar altında yarı kararlı bir hal olan şekilsiz halde bulunabilmektedir (Huebner et al., 2006). Düşük basınç ve $T < 120$ K'den düşük sıcaklıkta yoğunlaşma hızı yeterli düzeyde ise su buzu kristal hale geçmek için gerekli zamanı bulamayarak şekilsiz formda karşımıza çıkmaktadır. 150 K'den daha fazla ısınırsa, şekilsiz su buzu kübik kristal forma geçmektedir. $195 - 223$ K yöresinde gerekli basınç koşulları sağlandığında ise altıgen kristal formunu almaktadır.

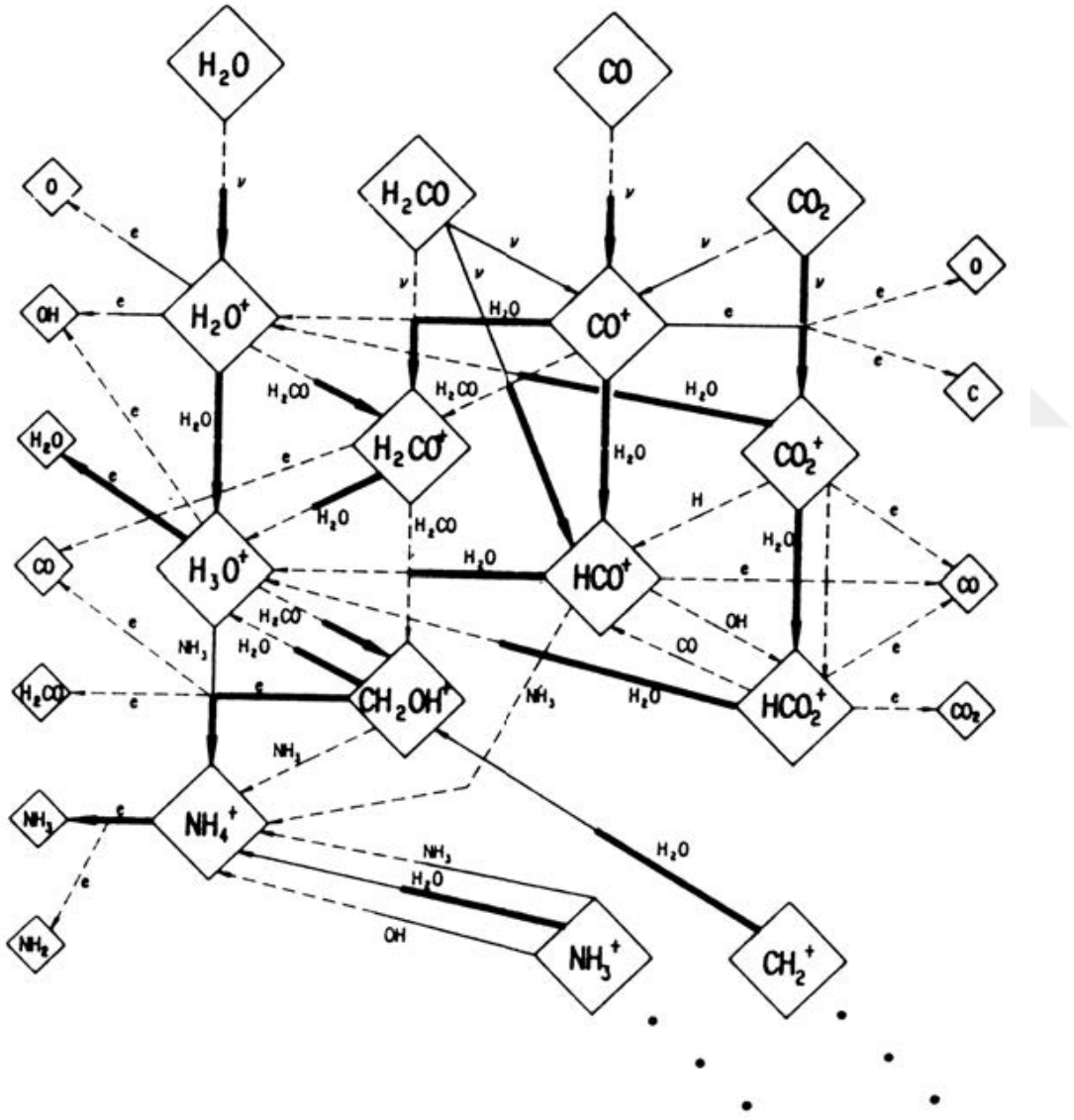
Şekilsiz haldeki su buzunun kristal haldekine göre farklı fiziksel özellikleri bulunmaktadır. Bunun yanında düşük süblimleşme sıcaklığına sahip molekülleri tuzaklayabilme özelliğine de sahiptir. Bu tuzaklanmış olan maddeler, kristalleşmenin süblimleşmesi sürecinde serbest kalarak aktivite oluşturmaktadır.

4.1.3 Kafeslenmiş Gazın Çıkışı

Aktiviteye sebep olan bir diğer olay ise kafeslenmiş gazın ortaya çıkmasıdır. Su buzunun hidrojen bağları ile oluşturduğu kafes yapı içerisinde hapsolmuş olan uçucular, kafes yapı olan su buzunun süblimleşmesi ile serbest kalmaktadır. Bu durum sonucunda gaz çıkışı meydana gelmektedir.

4.2 Gazın Kimyasal Tepkimeleri

Kuyrukluyıldızların aktivitesinin anlaşılması için kuyrukluyıldız içerisindeki kimyasal değişimler de hesaba katılmalıdır. Bu kimyasal tepkimeler Bölüm 4.1'de sözü edilen mekanizmalar ile ortaya çıkan moleküllerden farklı molekülleri oluşturabilmekte veya çıkan moleküllerin miktarı artabilmektedir (Şekil 4.3). Süblimleşme sonucu çıkan ve diğer moleküllerin temeli olan moleküllere ebeveyn molekül veya kaynak molekül adı verilmektedir. Bu kaynak moleküllerin olası halleri Tablo 4.3'de verilmektedir.



Şekil 4.3 Kuyrukluyıldızda meydana gelen önemli kimyasal tepkimelerin şematik gösterimi. "υ" ile fotoiyonizasyon veya fotoçözüşme ifade edilirken "*e*" ile elektron yeniden birleşmesi verilmektedir (Huebner, 1991).

Kuyrukluyıldızlarda, kaynak moleküller ile ortaya çıkan moleküller arasındaki değişimler, büyük oranda fotoçözüşme ile meydana gelmektedir. Fotoçözüşme olayı basit olarak bir ABC molekülünün moröte (UV) ışınımına maruz kalarak uyarılması ve sonrasında AB + C şeklinde ayrışması şeklinde açıklanabilmektedir. Kuyrukluyıldızların gaz içeriğinde birçok kimyasal reaksiyon mevcut olmakla birlikte çalışmamızda bunlardan en çok gözlenilenlere değinilmiştir.

4.2.1 H_2O - OH - H Dönüşümü

Kuyrukluyıldızlarda en fazla bulunan molekülün H_2O olduğu göz önünde bulundurulduğunda H_2O - OH - H dönüşümünün, ilgili bolluk ve üretim hesaplamaları yapılırken en çok dikkate alınması gereken dönüşüm olduğu görülmektedir.

H_2O, enerjinin bir fonksiyonu olarak ürün dağılımı en iyi bilinen az sayıda çok moleküllü yapıdan biri konumundadır. Kuramsal ve deneysel çalışmalar, $6 - 11$ eV arasında enerji soğuran H_2O molekülünün, OH molekülü ürettiğini göstermektedir. Daha yüksek enerji soğurması durumunda ise O + H_2 veya O + H + H oluşturabilmektedir (Schlemmer, 2014). Bu süreç ışıkla-ayrışma olarak adlandırılmaktadır. Yapılan gözlemlerde OH - H - H_2O çıkış oranları yaklaşık olarak aynı bulunmaktadır. Bu duruma göre OH ve H'nin temel kaynağının H_2O molekülü olduğu önerilmektedir.

Tablo 4.3 Gözlenen moleküllerin olası kaynak molekülleri (Swamy, 2010).

Gözlenen Molekül	**Olası Kaynak Molekül**
H_2O, H_2O^+, OH, H, O	H_2O
CO_2^+, CO^+, CO	CO_2
CO, CO^+, C	CO
CH	CH_4
CN	HCN, C_2N_2
NH, NH_2	NH_3
NH	NH_2
C_2	C_2H_2, C_3H_2O
C_3	C_3H_4, C_3H_8

4.2.2 NH_3 - NH_2 - NH Dönüşümü

Yaptığımız çalışmada kullanılan NH_2 molekülü, NH_3 ve NH molekülleri ile birlikte kuyrukluyıldızlarda sıkça görülmektedir. Işıkla - ayrışma süreci sonrasında kaynak molekül olarak kabul edilen NH_3 -çok büyük bir oranda ($\sim\%95$)- NH_2 ve -az da olsa ($\sim\%5$)- NH oluşturmaktadır.

4.2.3 C_2 ve C_3 Oluşumu

C_2 oluşumu için iki aşamalı bir ışıkla-ayrışma süreci önerilmektedir. İlk aşama;

$$C_2H_2 + h\nu \rightarrow C_2H + H \tag{4.16}$$

ikinci aşama ise;

$$C_2H + h\nu \rightarrow C_2 + H \tag{4.2}$$

olarak verilmektedir. C_2 kaynak molekülü olarak C_3H_2O da önerilmektedir.

C_3 oluşumu için birkaç farklı öneri mevcuttur. Laboratuvar çalışmalarına göre C_3 molekülü, C_3H_4 molekülünün fotolizi sonucu meydana gelebilmektedir. Bu fotoliz işlemi sırasında C_3H_3 ve C_3H_2 ara ürün olarak ortaya çıkar. Bu ara ürünlerin ışınla bozulması sonucunda C_3 molekülü ayrışır. Bunun yanında C_3H_8 molekülü de kaynak molekül olarak önerilmektedir.

4.2.4 CN Oluşumu

$$HCN + h\nu \rightarrow CN + H \tag{4.3}$$

Kimyasal denklemi ile verilen ışıkla - ayrışma süreci gözlemler ile uyuşmaktadır. Bu tepkimenin yanı sıra C_2N_2 molekülü de olası bir kaynak olarak verilmektedir.

5. AKTİVİTE – YÖRÜNGE İLİŞKİSİ

Aktivitenin, moleküllerin süblimleşmesi kaynaklı olduğu önceki bölümlerde belirtilmişti. Süblimleşme ile sıcaklık arasındaki ilişki ise Şekil 4.2'de verilmişti. Bu bölümde yörünge üzerindeki konumun sıcaklığa ve dolayısı ile aktiviteye olan etkisi incelenmektedir.

5.1 Albedo ve Albedo - Yörünge İlişkisi

Latince aklık kelimesine karşılık gelen bu sözcük kısaca ışınım yapmayan bir gök cisminin yansıttığı ışının aldığı ışına oranı (Kızılırmak, 1969) olarak tanımlanmaktadır ve matematiksel olarak 5.1 denklemi ile verilmektedir.

$$\gamma = \frac{Q_{sca}}{Q_{ext}} \tag{5.1}$$

Denklemde "γ" parçacık albedosu, "Q_{sca}" ve "Q_{ext}" ise sırası ile saçılmaya ve sönümlemeye ilişkin boyutsuz faktörlerdir. Bu faktörlerin soğurma faktörü "Q_{abs}" ile olan ilişkileri ise (5.2) denkleminde verilmektedir.

$$Q_{ext} = Q_{sca} + Q_{abs} \tag{5.2}$$

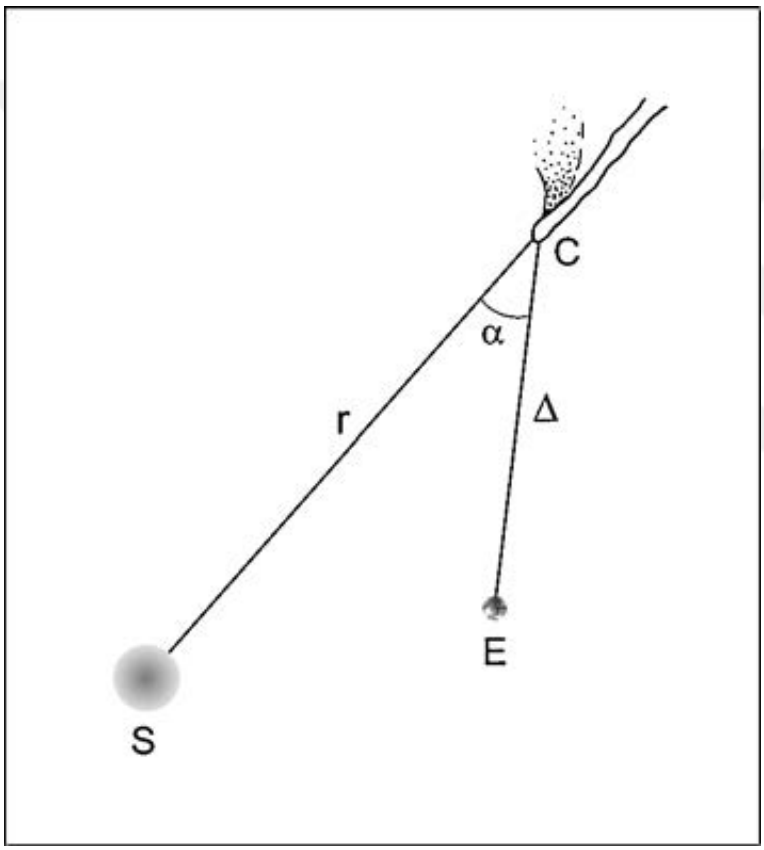
Yansıtılmayan ışık yüzey tarafından soğurulmaktadır. Soğurulan bu enerji yüzey sıcaklığını arttırmakta ve buzları süblimleştirmektedir (Coakley, 2003).

5.1.1 Geometrik Albedo

Geometrik albedo, sözlük anlamı ile Güneş doğrultusundan bakıldığında, incelenen cisim ile aynı uzaklığa ve aynı çapa sahip varsayımsal bir disk yapının yansıtması olarak kabul edilmektedir. (5.1) ve (5.2) denklemlerinde bulunan bileşenleri akı olarak temsil edersek geometrik albedo A_P (5.3) denklemindeki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{A_p S \Phi(\alpha)}{r_h^2 \Delta^2 \pi} = \frac{F_C}{F_\odot} \tag{5.3}$$

Bu denklemde "S" kuyrukluyıldız çekirdeğinin yansımayı yapan yüzey alanını, "$\Phi(\alpha)$" evre fonksiyonunu, "r_h" Güneş merkezli uzaklığı, "Δ" yer merkezli uzaklığı ifade ederken, "F_C" kuyrukluyıldız akısını, "$F_\odot$" ise Güneş akısını ifade etmektedir. Güneş, Yer ve kuyrukluyıldız arasındaki açıyı (Şekil 5.1) ifade eden evre açısı "α" ise geometrik albedo için 0° olarak kullanılmaktadır (Meierhenrich, 2015).



Şekil 5.1 Evre açısını "α" gösteren çizim. Kuyrukluyıldız "C", Güneş "S" ve Yer "E" ile gösterilmektedir (Fernandez, 2005).

5.1.2 Bond Albedosu

Bond albedosu "A_B", geometrik albedodan farklı olarak tüm yönlerde yansıtılan ışığın gelen ışığa oranı olarak tanımlanmaktadır. Geometrik albedo ile arasındaki ilişki (5.4) denklemi ile verilmektedir.

$$A_B = A_p q \tag{5.4}$$

Bu denklemde "q" evre integrali anlamındadır ve (5.5) denkleminde verilen ifade ile hesaplanmaktadır (Lamy et al., 2005)

$$q = \int \Phi(\alpha) \sin(\alpha)\, d\alpha\,. \tag{5.5}$$

Yukarıda sözü edilen her iki albedo kavramı dalgaboyuna bağlı olmalarına karşın bolometrik albedolar ile yaklaşık aynı değerlere sahiptir (Lamy et al., 2005).

5.2 Sıcaklık – Yörünge İlişkisi

Kuyrukluyıldızların moleküllerin süblimleşme sıcaklıklarına gelebilmeleri için gerekli enerjinin Güneş ışınından soğurulduğu varsayımı altında, albedo ile sıcaklık arasında bir ilişki olduğu sonucuna varılabilir. Stephan - Boltzman yasası gri cisim yaklaşımı ile ele alındığında;

$$E_{Abs} = E_{Emi} \tag{5.6}$$

"E_{Abs}" soğurulan enerji, "E_{Emi}" ise salınan enerji olmak üzere,

$$\frac{(1 - A_B) L_\odot}{4\pi r_h^2} = \varepsilon \sigma T^4 \tag{5.7}$$

eşitliğinden;

$$T = \sqrt[4]{\frac{L_\odot}{4\pi r_h^2 \sigma}} \tag{5.8}$$

olarak bulunmaktadır. Yukarıdaki iki denklemde "$A_B = A_p q$" Bond albedosu, "$L_\odot$" Güneş ışıtması, "r_h" Güneş merkezli uzaklık, (gricisim için "$\varepsilon = 1 - A_B$") "ε" yansıtma faktörü ve "k" Boltzmann sabitini ifade etmektedir (Woan, 2003).

Kuramsal olarak süblimleşmeye dair sıcaklıklar ise (5.6) denklemi ile verilen basit bir enerji eşitliğinin kuyrukluyıldıza uyarlanması ile bulunmaktadır:

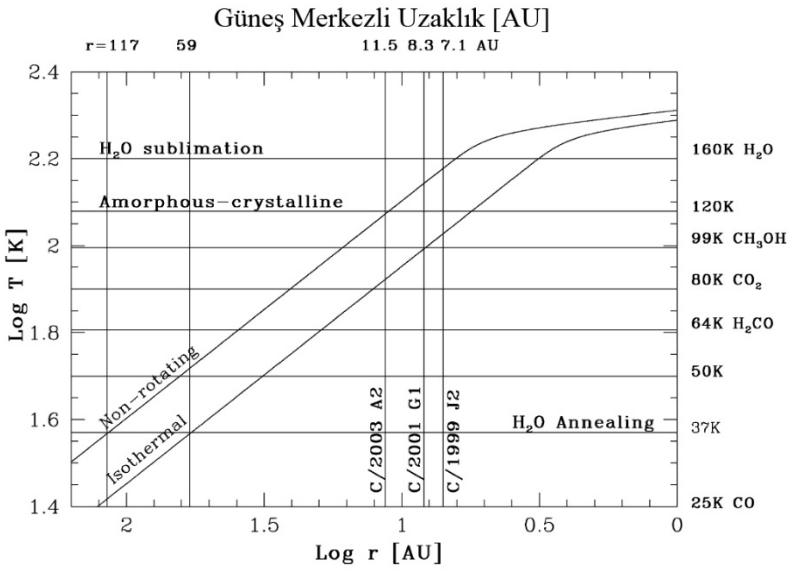
$$\frac{(1-A_B)L_\odot}{4\pi r_h^2} = \varepsilon\sigma T^4 + \mathcal{P}_\mu\sqrt{\frac{m_\mu}{2\pi kT}}\mathcal{H}_\mu \,. \qquad (5.9)$$

Bu denklemde "$L_\odot$" Güneş ışıması, "μ" molekülü için "$\mathcal{P}_\mu$" doymuş buhar basıncı, "m_μ" molekülün kütlesi ve "$\mathcal{H}_\mu$" süblimleşme için molekül başına gereken faz değişim ısısı olarak verilmektedir (Meech, 2004).

Tablo 5.1 Moleküllerin kuramsal süblimleşme uzaklıkları (Meech, 2004)

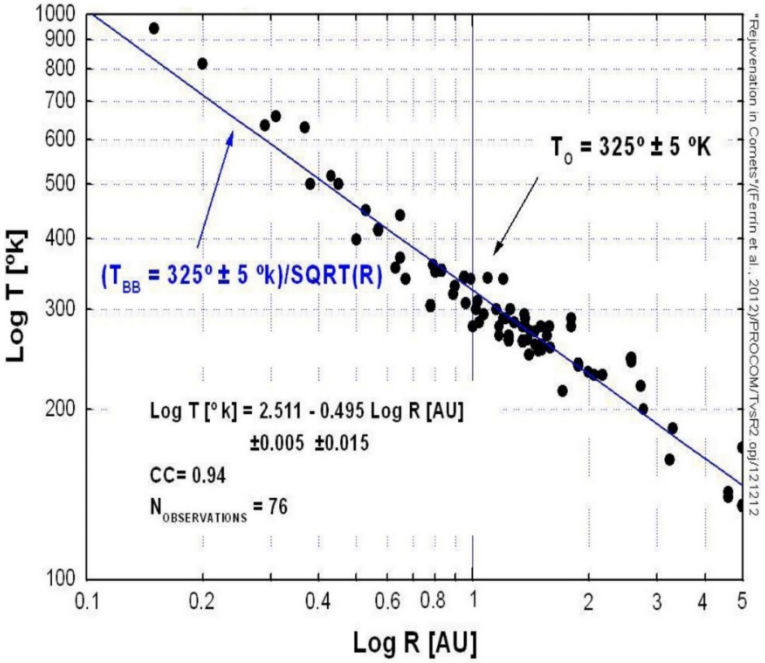
Süblimleşen Molekül	**Süblimleşmeye Başlama Uzaklığı [AB]**
H_2	3000
N_2	160
CO	120
CH_4	80
C_2H_6	40
C_2H_2, H_2S	24
H_2CO	20
NH_3	14
CO_2	13
HCN	8
CH_3OH	8

(5.2) denklemine göre bulunmuş olan süblimleşmeye başlama uzaklıkları, bir başka deyişle aktivite başlangıcı kabul edilen uzaklıklar Tablo 5.1'de verilmektedir. (5.9) denklemini temel alarak yaptıkları hesaplamada Meech ve arkadaşları (2009), olabilecek iki uç noktayı modelleyerek kuyrukluyıldızların, Güneş'e uzaklıklarına göre sahip olabilecekleri kuramsal sıcaklık aralıklarını Şekil 5.2'deki gibi vermektedir. Bu hesaplamada uç noktalardan birisi izotermal hızlı dönen kuyrukluyıldız iken, diğeri dönmeyen bir kuyrukluyıldız olarak alınmıştır. İki durum için de $A_B = 0.04$ ve $\varepsilon = 0.9$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.2 Kuyrukluyıldızların Güneş'e olan uzaklıklarına göre kuramsal sıcaklıkları ve gazların süblimleşme sıcaklıkları. Üç adet kuramsal uzaklıktan önce su aktivitesi gözlenmiş kuyrukluyıldız ile birlikte gösterilmektedir (Meech et al., 2009).

Bu kuramsal çalışmada karşımıza çıkan uç sıcaklıklar Ferrin ve arkadaşlarının (2013) gözlemsel verileri ile uyum göstermektedir. 34 adet kuyrukluyıldız üzerinde JHKLMNQ renk fotometrisi ile 74 adet gözleme dayanan bulgular ile elde edilen sıcaklık - uzaklık ilişkisi (5.10) denklemi kullanılarak elde edilen dağılım Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3 34 kuyrukluyıldızın Güneş'e uzaklıklarına göre sıcaklıkları (Ferrin et al., 2013).

$$T = \frac{325 \pm 5}{\sqrt{R}} \tag{5.10}$$

5.3 Gaz Üretim Miktarı – Yörünge İlişkisi

Kuyrukluyıldızlarda aktiviteden dolayı açığa çıkan madde miktarı olarak karşımıza çıkan üretim miktarları, gaz ve toz maddenin miktarı şeklinde ele alınmaktadır. Süblimleşmenin, sıcaklık ve yörüngeye göre değişimine ilişkin açıklama önceki bölümlerde verilmektedir. Bu bölümde ise süblimleşme ile ortaya çıkan gazın miktarı incelenmektedir. Bunun için (5.9) denklemi Güneş zenit açısına (z) göre (5.11) denklemindeki gibi verilir. Bu denklem süblimleşme miktarları ile Güneş merkezli uzaklık arasındaki bağlantıyı da vermektedir.

$$\frac{F_{\odot}(1 - A_V)}{r_h^2} \cos z = (1 - A_{IR})\sigma T^4 + Z_{\mu} m_{\mu} \mathcal{H}_{\mu} \tag{5.11}$$

Bu denklemde "$F_{\odot}$" 1 AB'deki Güneş akısını, "A_V" ve "A_{IR}" ise sırası ile görünür ve kızılöte dalga boylarındaki Bond albedolarını tanımlamaktadır. "L_{μ}", "μ" molekülünün süblimleşmesi için molekül başına gereken faz değişim ısısını, "Z_{μ}" ise birim alanda birim zamanda meydana gelen süblimleşme miktarını molekül sayısı ile temsil etmektedir. Verilmiş olan süblimleşme miktarı, buzun buhar basıncı ile hesaplanabilmektedir. Aktif yüzeyden çıkan molekül sayısı ile yüzeye çarpan molekül sayısının dengede olduğu bir durum için süblimleşme miktarı, yüzeye çarpan molekül sayısı cinsinden (5.12) denklemi ile verilir,

$$Z_{\mu} = n_{\mu} \frac{v_{th}}{4}. \tag{5.12}$$

Bu denklemde "n_{μ}" molekülün sayı yoğunluğunu ve "v_{th}" ise Maxwell hız dağılımına göre ortalama gaz hızı veya belirli bir sıcaklıkta molekülün ısısal hızını belirtmektedir (Huebner, 2006). Hız denklemi,

$$v_{th} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_{\mu}}} \tag{5.13}$$

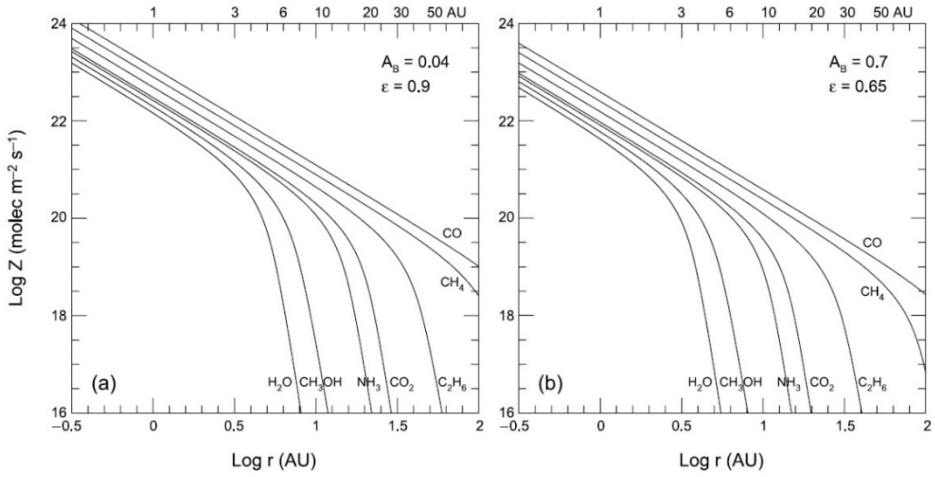
(5.14) eşitliği (Swamy, 2010)

$$\mathcal{P}_{\mu} = n_{\mu} kT \tag{5.14}$$

ile birlikte alınırsa sıcaklık ile süblimleşme miktarı,

$$Z_{\mu} = \frac{\mathcal{P}_{\mu}}{\sqrt{2\pi m_{\mu} kT}} \tag{5.15}$$

şeklinde yeniden yazılabilir. (5.11) denklemi kullanılarak temel birkaç buzul uçucu için Güneş merkezli uzaklığa göre süblimleşme miktarları Meech ve Svoren (2004) tarafından Şekil 5.4'deki gibi verilmektedir. Bu modelleme sırasında iki farklı durum ele alınmaktadır.



Şekil 5.4 İki farklı Bond albedosu ve yayma kuvvetine göre uçucuların süblimleşme miktarları ile Güneş merkezli uzaklık arasındaki ilişki (Meech ve Svoren, 2004).

Kuyrukluyıldızları incelerken kullanılan nicelik süblimleşme miktarından çok molekül üretim miktarı "Q_{μ}" olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu miktar zenit açısına "z", aktif yüzey alanına "S" ve süblimleşme miktarına "Z" bağlı olarak karşımıza çıkmaktadır,

$$Q_\mu = 2\pi r_n^2 \int_0^{\pi/2} Z(z)\sin(z)\,dz\,. \qquad (5.16)$$

Zenit açısındaki değişimin kuyrukluyıldızın dönmesine bağlı olduğu varsayımı altında iki uç nokta referans alınabilmektedir. Bunlar çok hızlı dönen ve dönmeyen kuyrukluyıldız modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok hızlı dönen bir kuyrukluyıldız için zenit açısı önemsiz bir duruma gelmekte ve kuyrukluyıldız küre gibi davranmaktadır:

$$Q_\mu = 4\pi r_n^2 Z_\mu\,. \qquad (5.17)$$

Dönmeyen bir kuyrukluyıldız ise yarım küre gibi davranmaktadır,

$$Q_\mu = 2\pi r_n^2 Z_\mu\,. \qquad (5.17)$$

5.4 Toz Üretim Miktarı – Yörünge İlişkisi ve $A(\theta)f\rho$ Parametresi

1984 yılındaki makalesinde A'Hearn tarafından önerilen $A(\theta)f\rho$ parametresi, temel olarak toz aktivitesi belirteci olarak tanımlanmaktadır. A'Hearn tarafından, farklı zamanlarda, farklı geometrik koşullar altında ve farklı görüş alanlarında alınmış olan gözlemlerin karşılaştırılabilmesi için süreklilik çizgisinin indirgenmesi ile elde edildiği belirtilen $A(\theta)f\rho$ parametresi (Denklem 5.19), evre açısına bağlı ürün albedosu "$A(\theta)$", görüş alanı doğrultusundaki zerreciklerin doldurma etmeni "f" ve kuyrukluyıldızın görüş alanı doğrultusundaki doğrusal yarıçapı "ρ" olarak tanımlanmaktadır.

$$A(\theta)f\rho = \left(\frac{2\Delta r_h}{\rho}\right)^2 \left(\frac{F_{Com}}{F_\odot}\right)\rho \qquad (5.19)$$

bu eşitlikte "F_{Com}" kuyrukluyıldızdan alınan akı miktarını belirtmektedir. Doldurma etmeni "f",

$$f = \frac{N(\rho)\sigma}{\pi\rho^2} \tag{5.20}$$

şeklinde verilir. Bu denklemde "$N(\rho)$" görüş alanındaki zerreciklerin sayısını ve "σ" ortalama zerreciklere ait çapraz kesit alanı olarak tanımlanmaktadır.

Toz üretimi kütle ölçümleri ile verilmektedir. A'Hearn'in parametresi ile kütle kaybı arasındaki bağlantı Fink ve Rubin (2012) tarafından çok büyük oranda parçacık boyut dağılımına bağlı olarak verilmektedir. Bu duruma ilişkin hesaplamalar Tablo 5.2'de verilmektedir. Yine aynı çalışmada araştırmacılar genel parçacık boyut dağılımının $Q{\sim}a^{-3.5}$ ile a^{-4} aralığında olduğunu belirtmektedir.

Tablo 5.2 Parçacık boyut dağılım fonksiyonuna göre kütle kaybı oranları (Fink ve Rubin, 2012).

Parçacık Boyut Dağılım Fonksiyonu		**Kütle Kaybı (kg/s)**	$\dot{m}/Af\rho$ **(kg/ms)**
$Q{\sim}a^{-2}$	$dQ/da{\sim}a^{-3}$	396	237
$Q{\sim}a^{-2.5}$	$dQ/da{\sim}a^{-3.5}$	22.8	38.1
$Q{\sim}a^{-2.75}$	$dQ/da{\sim}a^{-3.75}$	7.54	7.47
$Q{\sim}a^{-3}$	$dQ/da{\sim}a^{-4}$	4.66	2.03
$Q{\sim}a^{-4}$	$dQ/da{\sim}a^{-5}$	396	3.25

6. DİNAMİK SINIFLANDIRMA-AKTİVİTE İLİŞKİSİ

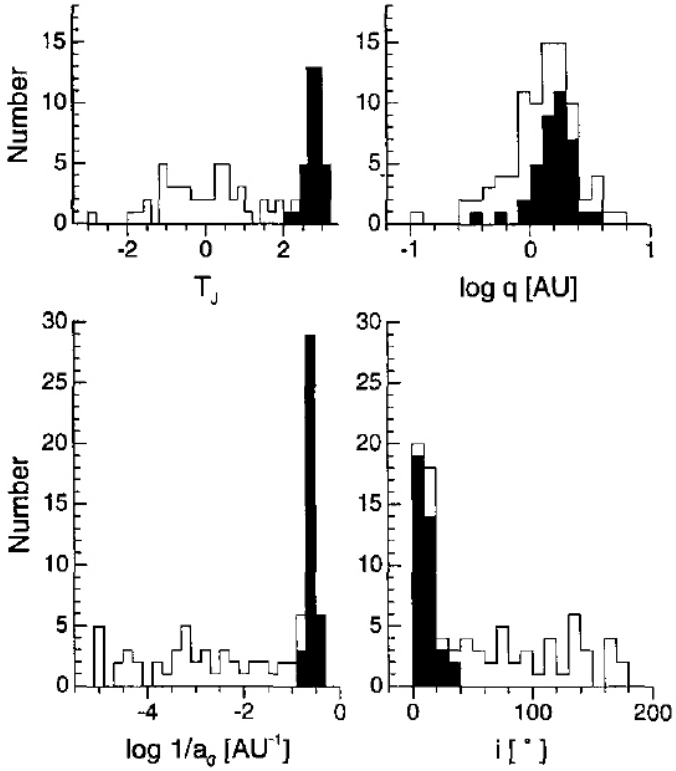
Bu tez çalışmasında, kuyrukluyıldızların yörünge sınıflandırmaları ile gaz üretim oranları arasındaki ilişki istatistiksel veriler yardımıyla incelenmiştir. Çalışmanın amacı, kuyrukluyıldızların aktivitesi ve dolaylı olarak kimyasal yapısı ile dinamik sınıflandırma arasındaki ilişkinin araştırılması, ilişki var ise buna bağlı bir sınıflandırmanın yapılmasıdır.

6.1 Önceki Çalışmalar

Kuyrukluyıldızlar için büyük ölçüde kabul gören tek sınıflandırma Bölüm 3.8 ile verilen dinamik sınıflandırma olarak karşımıza çıkmaktadır. Dinamik sınıflandırmadan farklı olarak içeriklerine ve aktivitelerine göre sınıflandırma çalışmaları literatürde mevcuttur. Daha önce bu konuda karşımıza çıkan üç farklı çalışma yapılan bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır: A'Hearn et al. (1995), Fink (2009) ve Langland-Shula ve Smith (2011) çalışmalarına ilişkin bilgiler aşağıdaki alt bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

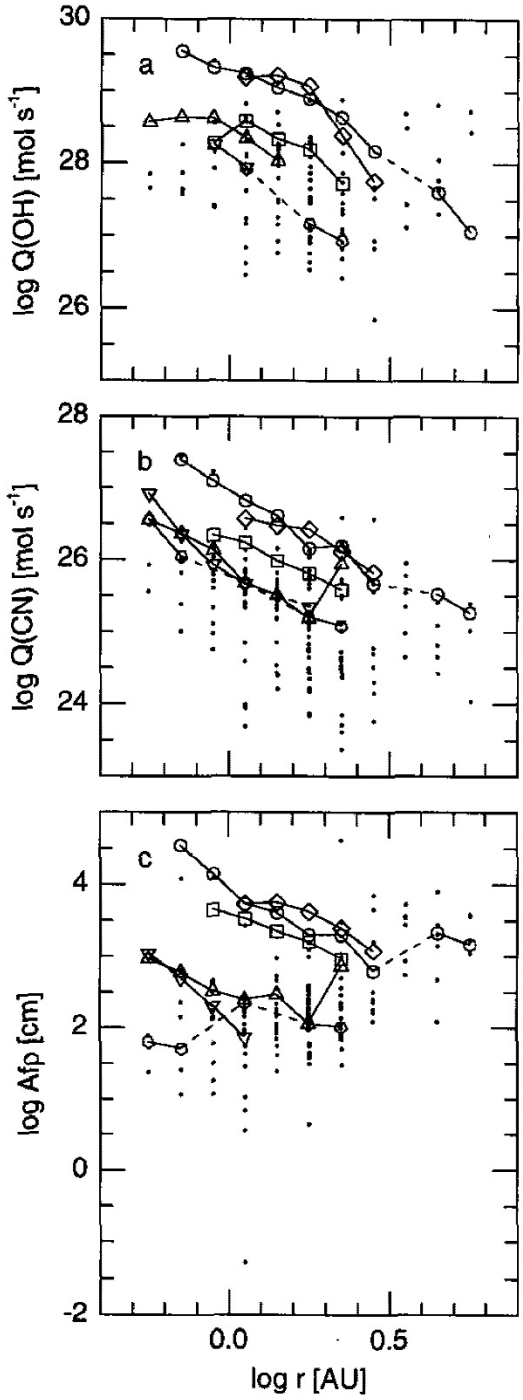
6.1.1 A'Hearn Sınıflandırması

A'Hearn et al. (1995) Şekil 6.1'de verilen yörüngesel özellik dağılımına sahip 85 kuyrukluyıldızın fotometrik verilerini incelemişlerdir. Yapılan araştırmada, Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, Güneş'e olan uzaklıklarına bağlı olarak kuyrukluyıldızların gaz ve toz üretim miktarlarının değişimi incelenmektedir. Yapılan incelemede üretim miktarlarının Güneş'e olan uzaklıklar ile ilişkisi olduğu önerilmiştir. Bu ilişki ise; $Q_{gas} \propto r_h^{-2.7}$ ve $A(\theta)f\rho \propto r_h^{-2.3}$ olarak verilmiştir.



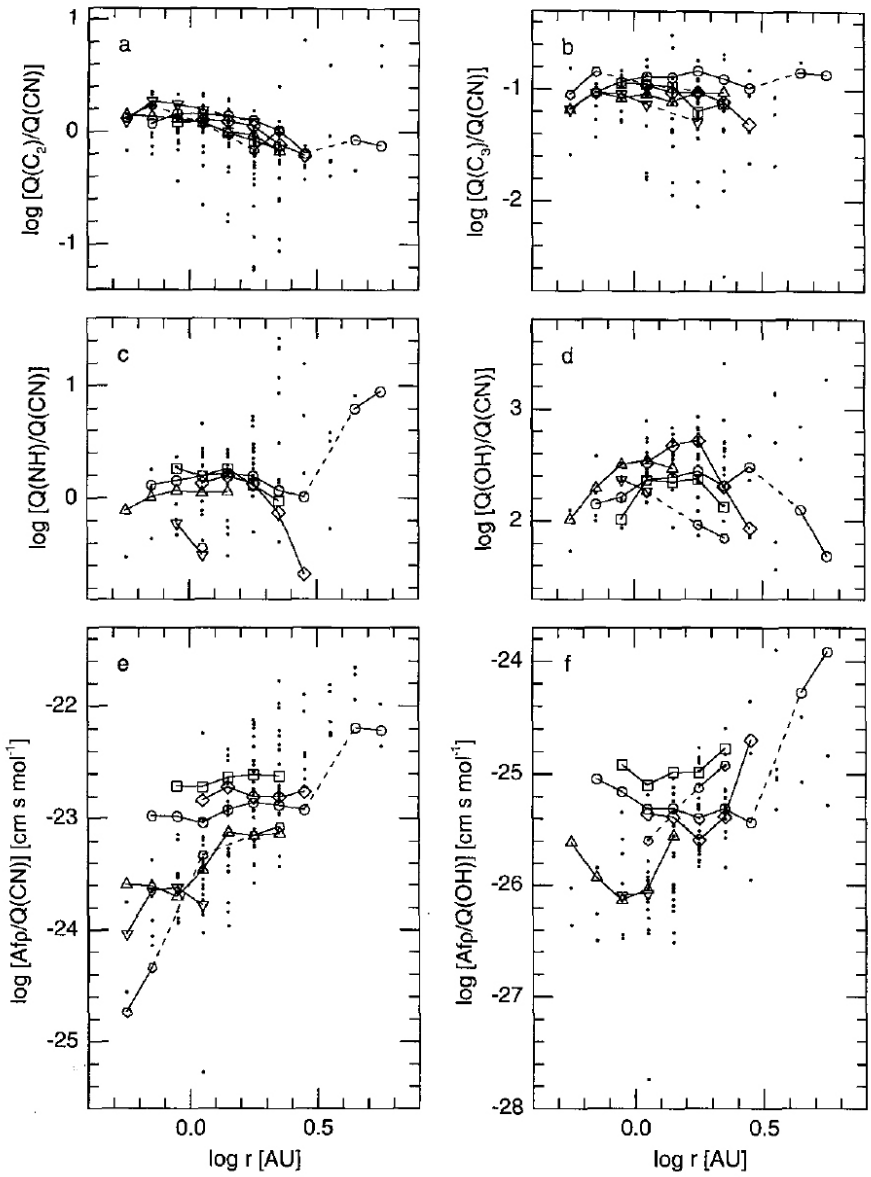
Şekil 6.1 Gözlenen kuyrukluyıldızların yörünge özelliklerine göre dağılımı. "T_J" Tisserand parametresini, "i" yörünge eğikliği, "a" yarıbüyük eksen uzaklığı, "q" ise enberi uzaklığı olarak verilmektedir (kısa dönemli Jupiter Ailesi kuyrukluyıldızlar belirginleştirilmiştir.) (A'Hearn et al., 1995).

Aynı çalışmada, bu üretim miktarlarının birbirlerine oranı da incelenmektedir (Şekil 6.3). Bu inceleme sonucunda araştırmacılar kuyrukluyıldızlardaki gaz-gaz oranları için $Q(C_2)/Q(CN)$ oranının Güneş'e olan uzaklığa bağlı olarak arttığı, $Q(C_3)/Q(CN)$ oranının ise uzaklığa bağlı olarak değişmediği önerilmektedir. Diğer bir oran olan $Q(OH)/Q(CN)$'nin $1\ AB \leq r_h \leq 2\ AB$ aralığında en yüksek değere ulaştığı belirtilmektedir. Bunun nedeni olarak ise UV kaynaklı çözünme veya OH çizgilerinin genişliği önerilmektedir.



Şekil 6.2 Üretim miktarlarının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. Beş defa veya daha fazla gözlem noktası olan kuyrukluyıldızlar için oluşturulmuştur (Austin 1984 XIII = ⌂, Austin 1990 V = Δ, Bradfield 1979 X = ▽, Bradfield 1987 XXIX = □, P/Halley = ○ ve Levy 1990 XX = ◊ ile temsil edilmektedir) (A'Hearn et al., 1995).

Gaz-toz oranı için belirgin bir eğilim olduğu ve bu oranın Güneş'e olan uzaklığa göre arttığı önerilmektedir: $r_h^{0.5}$.



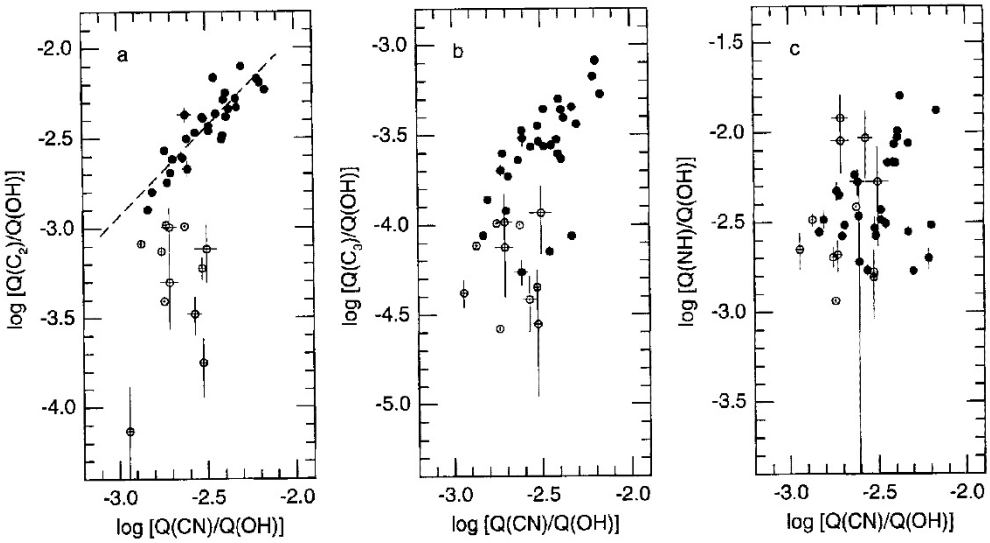
Şekil 6.3 Üretim oranlarının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi. Her grafik farklı bir oranı göstermektedir. 5 defa veya daha fazla gözlem noktası olan kuyrukluyıldızlar için oluşturulmuştur (Austin 1984 XIII = ⌂, Austin 1990 V = Δ, Bradfield 1979 X = ▽, Bradfield 1987 XXIX = □, P/Halley = ○ ve Levy 1990 XX = ◊ ile temsil edilmektedir) (A'Hearn et al., 1995).

Gazların birbirlerine oranı ve enberi uzaklığına göre gaz-toz çıkışları 41 kuyruklu yıldız için incelenmiş ve sınıflandırma çalışılmıştır. Bu inceleme sonucunda Tablo 6.1'de verilen iki adet temel sınıf oluşturulmuştur. Bunlar; tipik ve tükenmiş olarak verilmektedir. Bu sınıflardan tipik olarak geçen kuyrukluyıldızların oranı toplamın %70'i kadardır.

Tablo 6.1 Üretim oranlarına göre kuyrukluyıldız sınıfları.

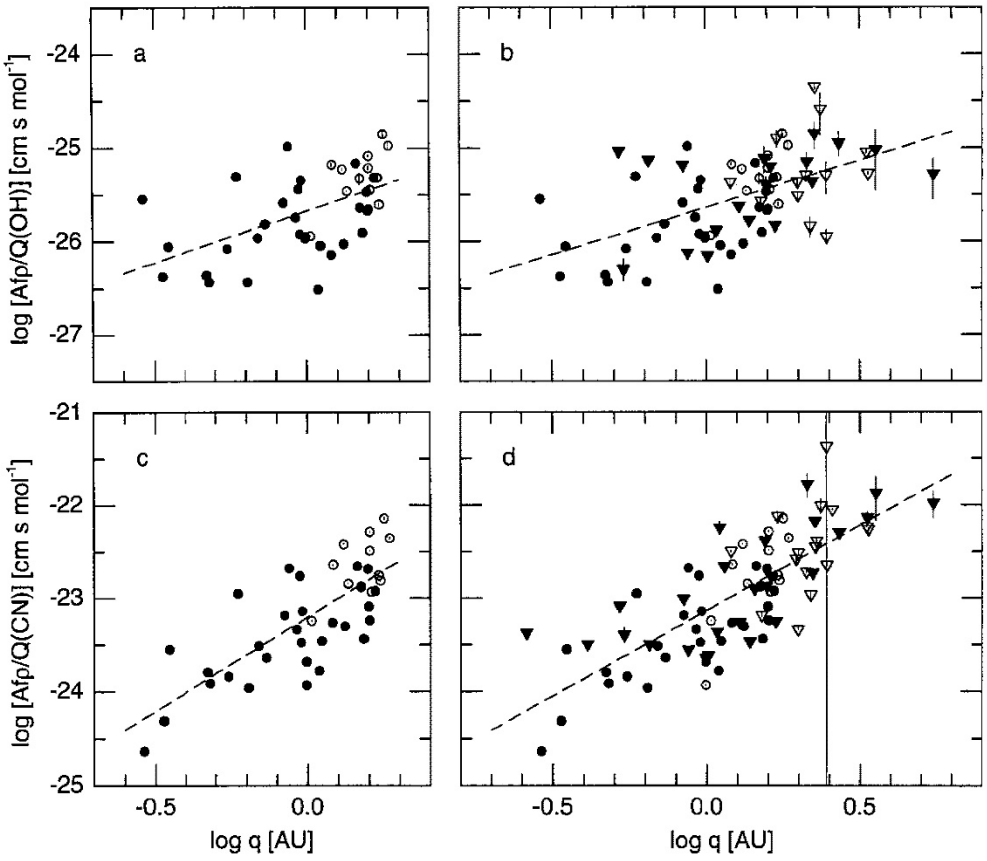
	C_2/CN	CN/OH	C_2/OH	C_3/OH	NH/OH	Afρ/OH
Tipik	≥-0.18					
Ortalama	0.06±0.10	-2.50±0.18	-2.44±0.20	-3.59±0.29	-2.37±0.27	-25.82±0.40
Aralık	-0.09→0.29	-2.83→-2.17	-2.90→-2.10	-4.26→-3.09	-2.77→-1.80	-26.51→-24.98
Tükenmiş	<-0.18					
Ortalama	-0.61±0.35	-2.69±0.14	-3.30±0.35	-4.18±0.28	-2.48±0.34	-25.30±0.29
Aralık	-1.22→-0.21	-2.94→-2.50	-4.13→-2.98	-4.58→-3.69	-2.94→-1.92	-25.94→-24.85

Şekil 6.4 ile verilen gaz-gaz üretim oranları CN, C_2 ve C_3 için verilmektedir. Şekilde karbon temelli moleküllerin tipik kuyrukluyıldızlar için belli bir davranış gösterdiği belirtilmektedir.



Şekil 6.4 41 kuyrukluyıldız için yapılan gaz-gaz üretim oran karşılaştırılması. Daireler "tipik kuyrukluyıldızları", çemberler ise "tükenmiş kuyrukluyıldızları" göstermektedir (A'Hearn et al., 1995).

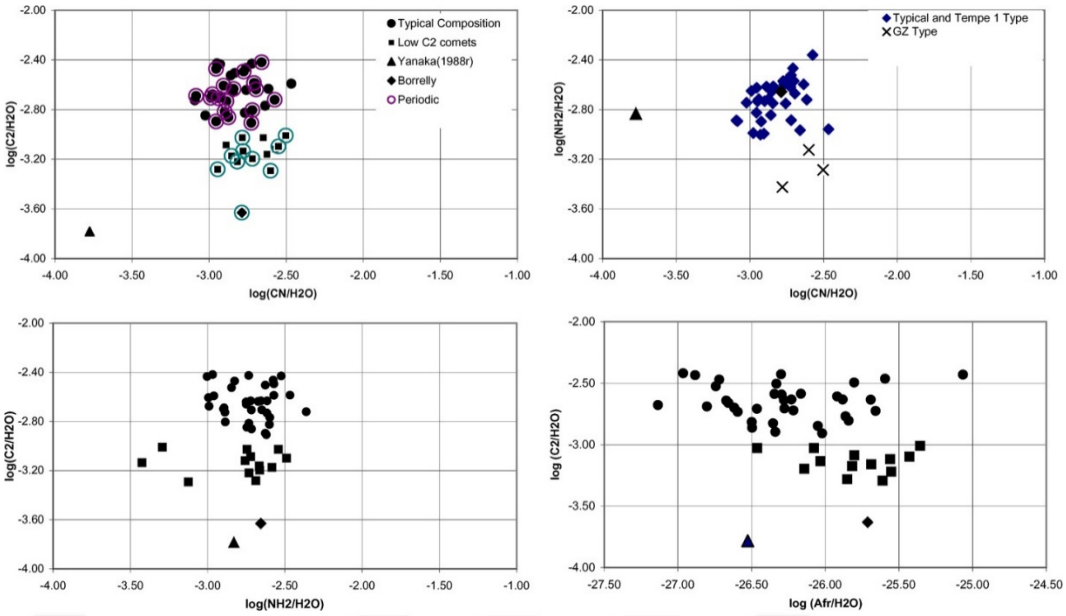
Sınıflandırmanın yanı sıra çalışmada enberi uzaklığı ile üretim miktarları arasındaki ilişki de incelenmiştir (Şekil 6.5). İnceleme sonucunda enberi uzaklığına bağlı olarak üretim miktarlarının değiştiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak kuyrukluyıldızın yakın geçişten kaynaklanan kabuk yapısı oluşturmuş olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 6.5 Enberi uzaklığının fonksiyonu olarak gaz-toz üretim oranları. Daireler incelenen 41 kuyrukluyıldız içindeki tipik kuyrukluyıldızları, çemberler ise tükenmiş kuyrukluyıldızları, içi dolu üçgenler diğer tipik kuyrukluyıldızları ve boş üçgenler diğer tükenmiş kuyrukluyıldızları göstermektedir (A'hearn et al., 1995).

6.1.2 Fink Sınıflandırması

Fink (2009), 92 adet kuyrukluyıldızın 1985-2004 yılları arasındaki tayf gözlemlerine dayanan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kuyrukluyıldızların C_2, NH_2, H_2O ve CN moleküllerindeki üretim miktarları ile $Af\rho$ parametreleri ve bunların yörüngeler ile olan ilişkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada öncelikle güvenilir salma çizgileri verdikleri belirtilen 50 kuyrukluyıldız için Şekil 6.6'da görülen üretim oranlarına bağlı olarak dört sınıftan oluşan bir sınıflandırma önerilmiştir. Tablo 6.2'de bu sınıflara ilişkin değerler verilmektedir.

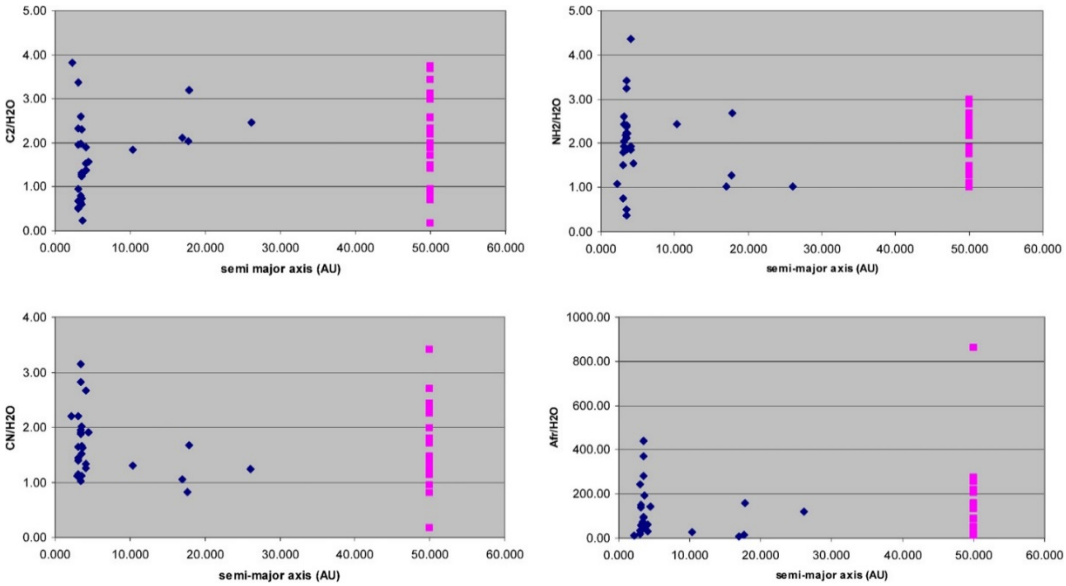


Şekil 6.6 Sınıflandırmaya ait grupları gösteren oranlar. Sağ üst grafik dışında tüm grafikler için tipik kuyrukluyıldızlar daire, düşük C_2 üretimine sahip kuyrukluyıldızlar kare, Yanaka tipi kuyrukluyıldızlar üçgen ve Borelly tipi kuyrukluyıldızlar karo ile temsil edilmektedir. Sağ üst grafikte ise normal NH_2 miktarına sahip kuyrukluyıldızlar karo ile temsil edilirken, NH_2 eksikliği gösteren Giacobini–Zinner (G-Z) tipi kuyrukluyıldızlar "x" ile gösterilmektedir (Fink, 2009).

Tablo 6.2 Sınıflandırma gruplarının istatistik verileri (değerler ‰H_2O olarak verilmektedir) (Fink, 2009).

	C_2	NH_2	CN	$Af\rho$	C_2/CN
Tipik (Normal C_2, CN ve NH_2 Miktarı) (~%70) (18 Adet Kısa Dönemli)					
Ortalama	2.35	2.02	1.58	93.3	1.63
Orta Değer	2.28	1.92	1.43	50.1	1.62
Standart Sapma	0.76	0.74	0.56	147.6	0.69
Azami Değer	3.81	4.36	3.42	860.0	3.33
Asgari Değer	1.24	1.00	0.81	10.9	0.66
Tempel 1 Tipi (Düşük C_2 Ancak Normal NH_2) (~%22) (7 Adet Kısa Dönemli)					
Ortalama	0.69	2.24	1.88	179.2	0.39
Orta Değer	0.69	2.16	1.64	159.8	0.40
Standart Sapma	0.20	0.48	0.58	100.9	0.14
Azami Değer	0.94	3.24	2.82	372.5	0.64
Asgari Değer	0.23	1.75	1.14	34.5	0.14
G-Z Tipi (Düşük C_2 ve NH_2) (~%6) (3 Adet, Hepsi Kısa Dönemli)					
İstatistik İçin Yeterli Veri Yok					
Yanaka Tipi (Düşük C_2, Düşük CN, ancak Normal NH_2) (~%2) (1 Adet, Uzun Dönemli)					
İstatistik İçin Yeterli Veri Yok					

Çalışmanın devamında, üretim oranları ile yörüngeler arasındaki ilişki incelenmektedir. Bunun için yarı büyük eksen uzaklığına göre (Şekil 6.7), enberi uzaklığı (Şekil 6.8) ve klasik yörünge sınıflandırmasına göre üretim oranları arasındaki ilişki (Tablo 6.3) incelenmiştir.



Şekil 6.7 ‰H_2O şeklinde üretim oranlarının ve $Af\rho/H_2O$ değerinin yarı büyük eksen uzaklıklarına göre grafiği. Yeni yörünge ailesindeki kuyrukluyıldızlar 50 AB uzaklıkta alınmış olarak kareler ile temsil edilmiştir (Fink, 2009).

Tablo 6.3 Yörünge ailelerine göre ortalama üretim miktarları ve oranları (Fink, 2009).

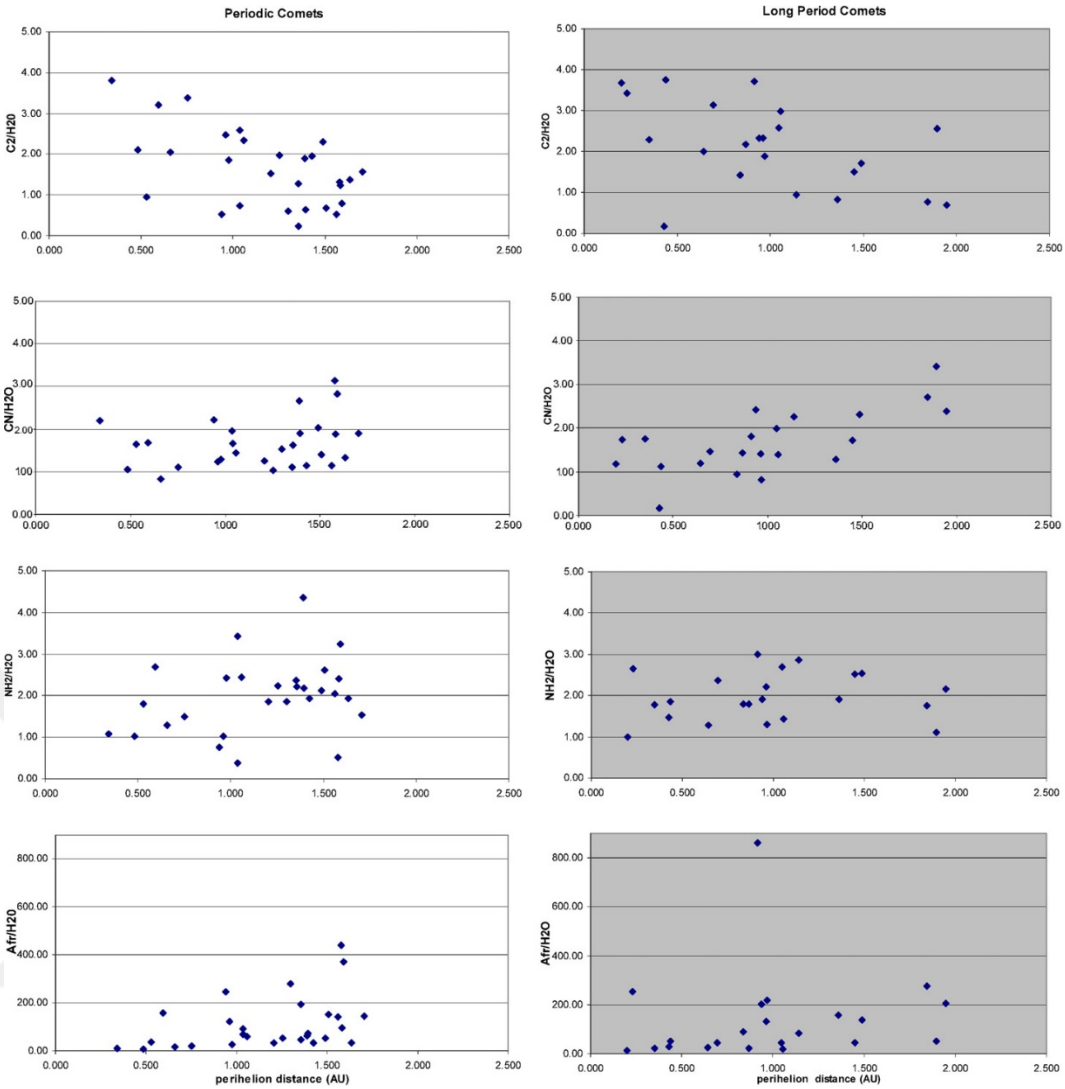
	Sayı	C_2/H_2O	NH_2/H_20	CN/H_2O	$Af\rho/H_2O$	C_2/CN
Jupiter Ailesi	23	1.47‰±0.94	2.03‰± 0.90	1.75‰± 0.58	119 ±116	0.94±0.71
Halley Tipi	5	2.33‰± 0.53	1.69‰±0.81	1.22‰± 0.32	65.3 ±69	1.96 ±0.37
Uzun Dönemliler	21	2.22‰±0.99	2.00‰±0.59	1.75‰± 0.65	141 ±185	1.49 ±0.84

Yapılan çalışma sonucunda;

- $Af\rho$ oranın enberi ile doğru orantılı hareket etmesi, yaşlanmanın sonucu olarak önerilmiştir.

- Gaz çıkış oranlarında, enberi ile doğrudan bir ilişki görülmemiş, bu yüzden yaş ile bağlantısı olduğunun düşünülmediği belirtilmiştir.

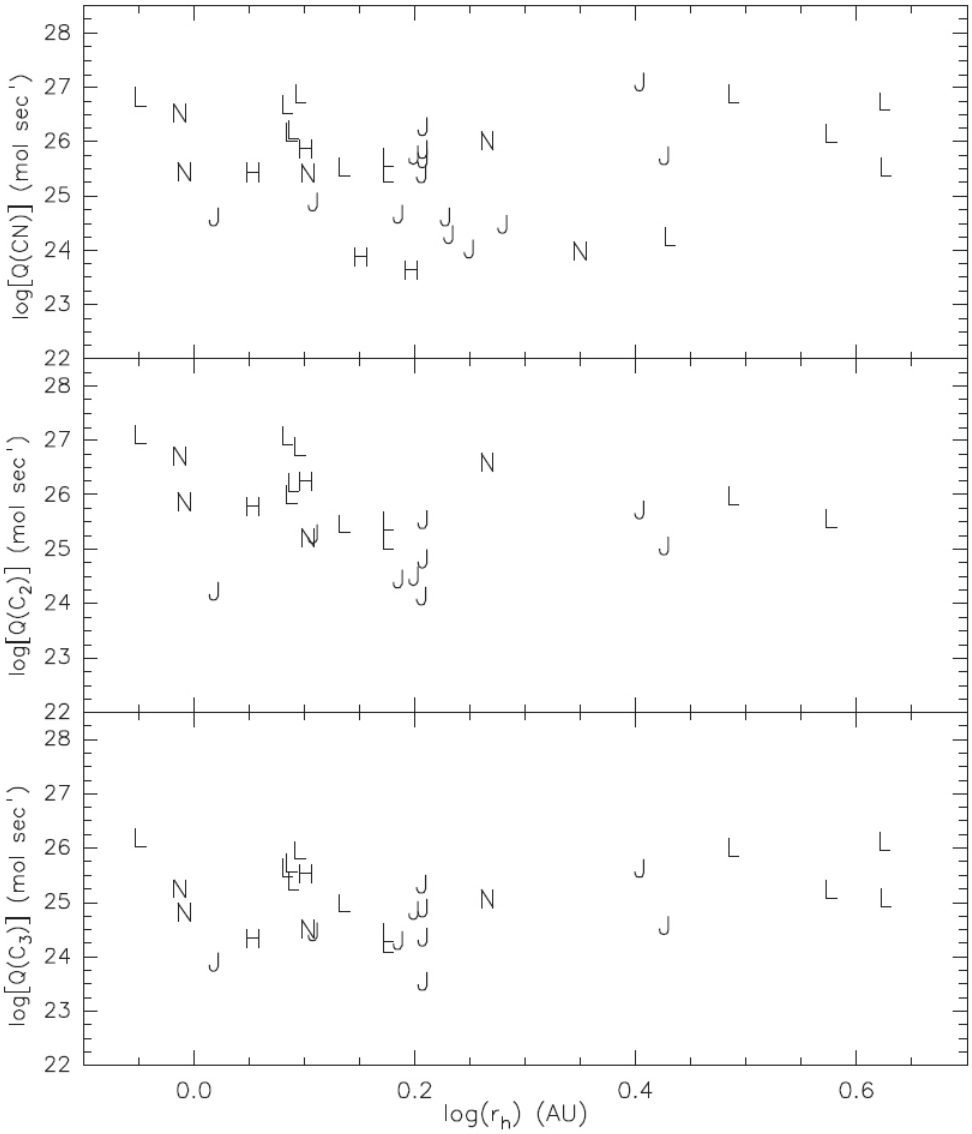
- Halley tipi kuyrukluyıldızlar için C_2/CN oranının daha yüksek olmasının sebebi kuyrukluyıldız oluşumunun Güneş'e yakın bölgelerde olması olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.8 Enberi uzaklığına göre kısa (sol sütun) ve uzun (sağ sütun) dönemli kuyrukluyıldızların gaz ve toz üretim oranları (Fink, 2009).

6.1.3 Langland-Shula ve Smith Sınıflandırması

Langland-Shula ve Smith (2011) tarafından 26 adet kuyrukluyıldızın 1996-2007 yılları arasındaki tayf gözlemlerine dayanılarak yapılan çalışma kuyrukluyıldızların sınıflandırmasını amaçlamaktadır. Araştırmacılar öncelikle Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verildiği gibi Güneş'e olan uzaklıklarına göre kuyrukluyıldızların gaz üretim miktarlarını incelemiştir. Çalışmanın tamamında ve inceleme sırasında dinamik sınıflandırma olarak geleneksel sınıflandırma kullanılmaktadır.

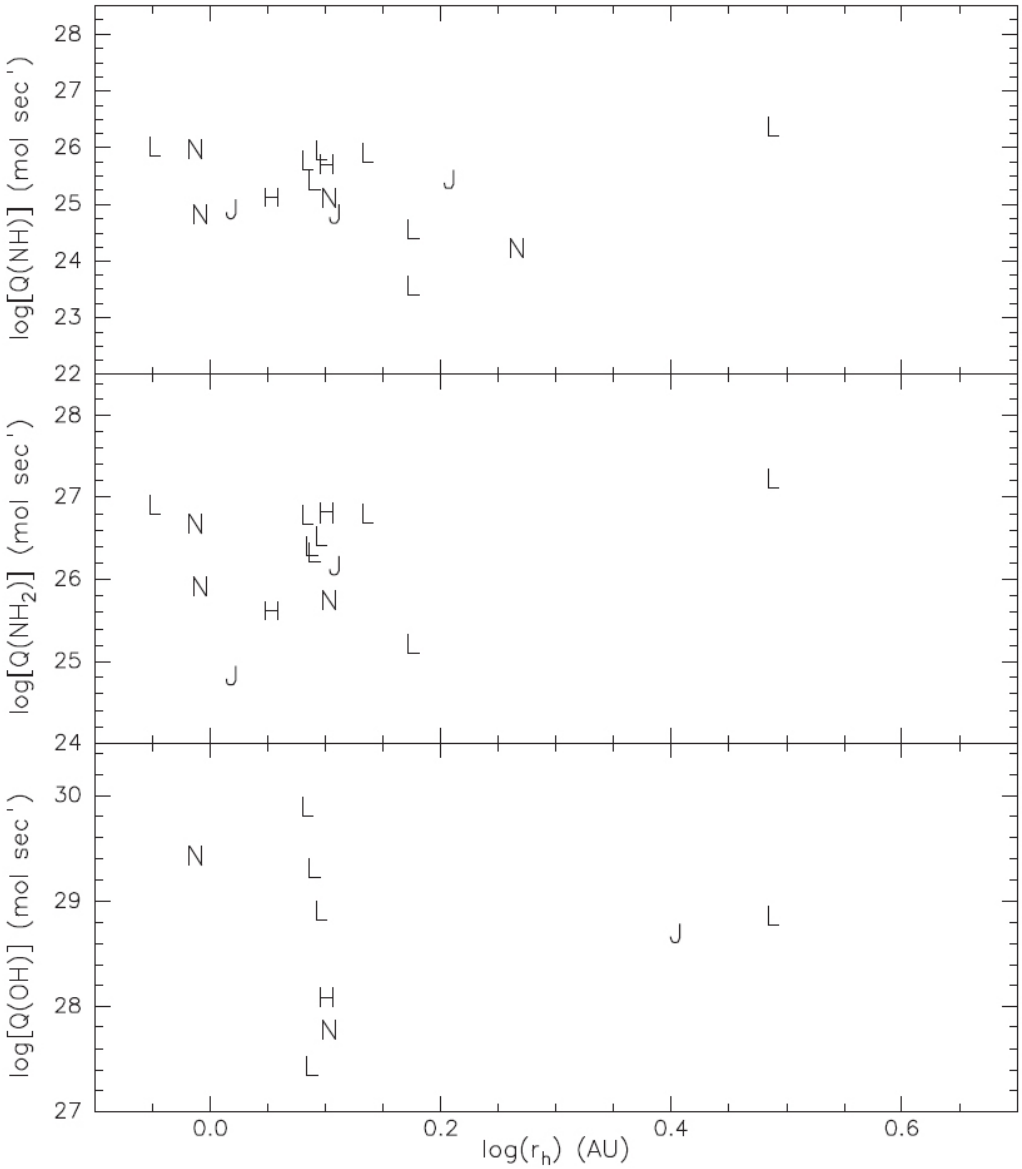


Şekil 6.9 Karbon içeren gazların Güneş'e olan uzaklığa göre üretim oranları. Jupiter Ailesi kuyrukluyıldızlar "J", Halley tipi kuyrukluyıldızlar "H", uzun dönemli kuyrukluyıldızlar "L" ve yeni dinamik sınıflanmış kuyrukluyıldızlar "N" ile gösterilmektedir (Langland-Shula ve Smith, 2011).

Bu incelemede ulaşılan ilişkiler şu şekildedir:

- $[Q(CN)]/[r_h] = 0.2 \pm 1.0$,
- $[Q(C_2)]/[r_h] = -1.3 \pm 1.1$,
- $[Q(C_3)]/[r_h] = 0.7 \pm 0.7$,
- $[Q(NH)]/[r_h] = -0.0 \pm 1.5$,
- $[Q(NH_2)]/[r_h] = 1.6 \pm 1.5$,
- $[Q(OH)]/[r_h] = -0.2 \pm 1.2$.

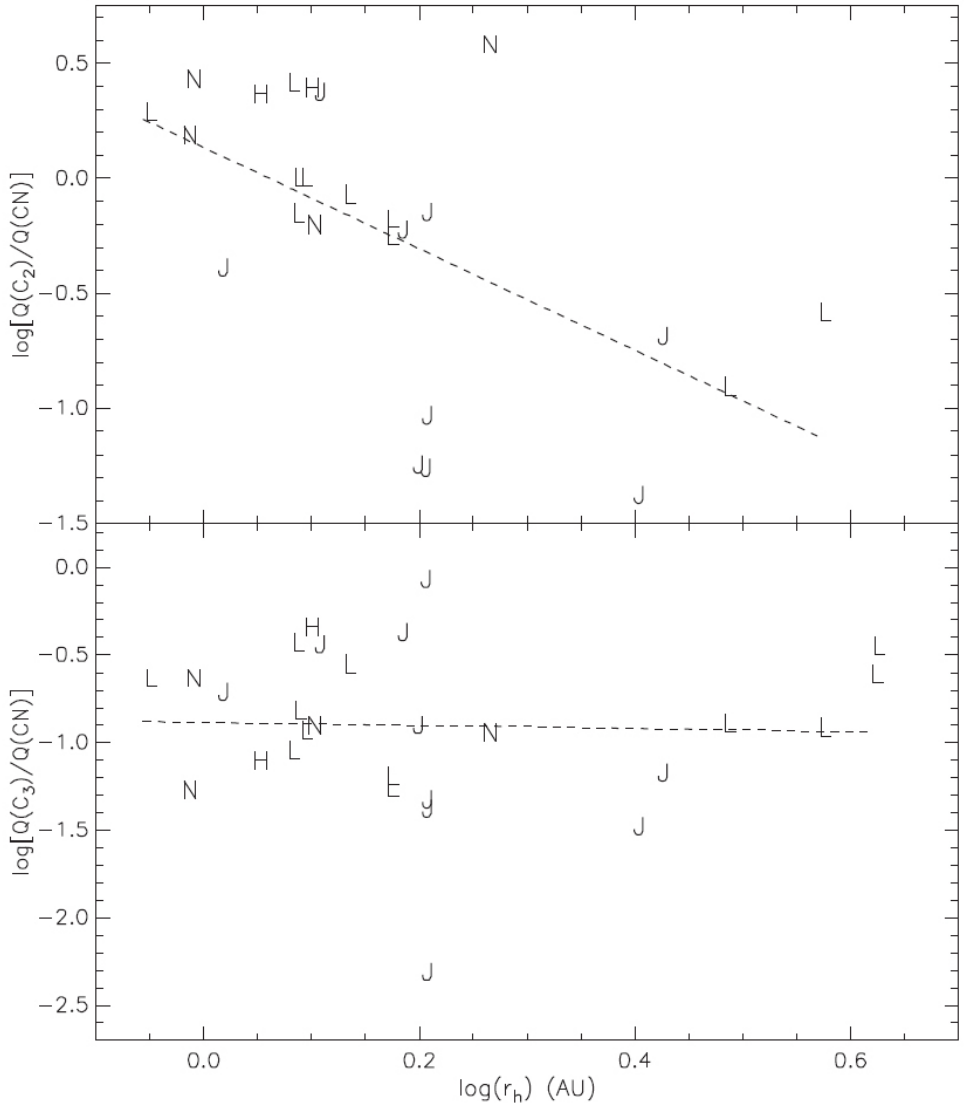
Bulunan bağlantılardaki belirsizliklerin çok yüksek olduğunu belirten araştırmacılar, Güneş'e olan uzaklığa bağlı bir değişimin doğrudan göze çarpmadığını belirtmişlerdir.



Şekil 6.10 Karbon içerikli olmayan gazların Güneş'e uzaklıklarına göre üretim oranları. Jupiter Ailesi kuyrukluyıldızlar "J", Halley tipi kuyrukluyıldızlar "H", uzun dönemli kuyrukluyıldızlar "L" ve yeni dinamik sınıflanmış kuyrukluyıldızlar "N" ile gösterilmektedir (Langland-Shula ve Smith ,2011).

Bundan sonra karbon içerikli gazların oranları ile Güneş'e olan uzaklık arasındaki (Şekil 6.11) ilişkiyi inceleyen araştırmacılar, A'Hearn et al. 1995 çalışmasındaki karbon ilişkisine (Şekil 6.4) benzer bir ilişki gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu ilişkinin dinamik sınıflara göre dağılımı ise Şekil 6.12 ve istatiksel

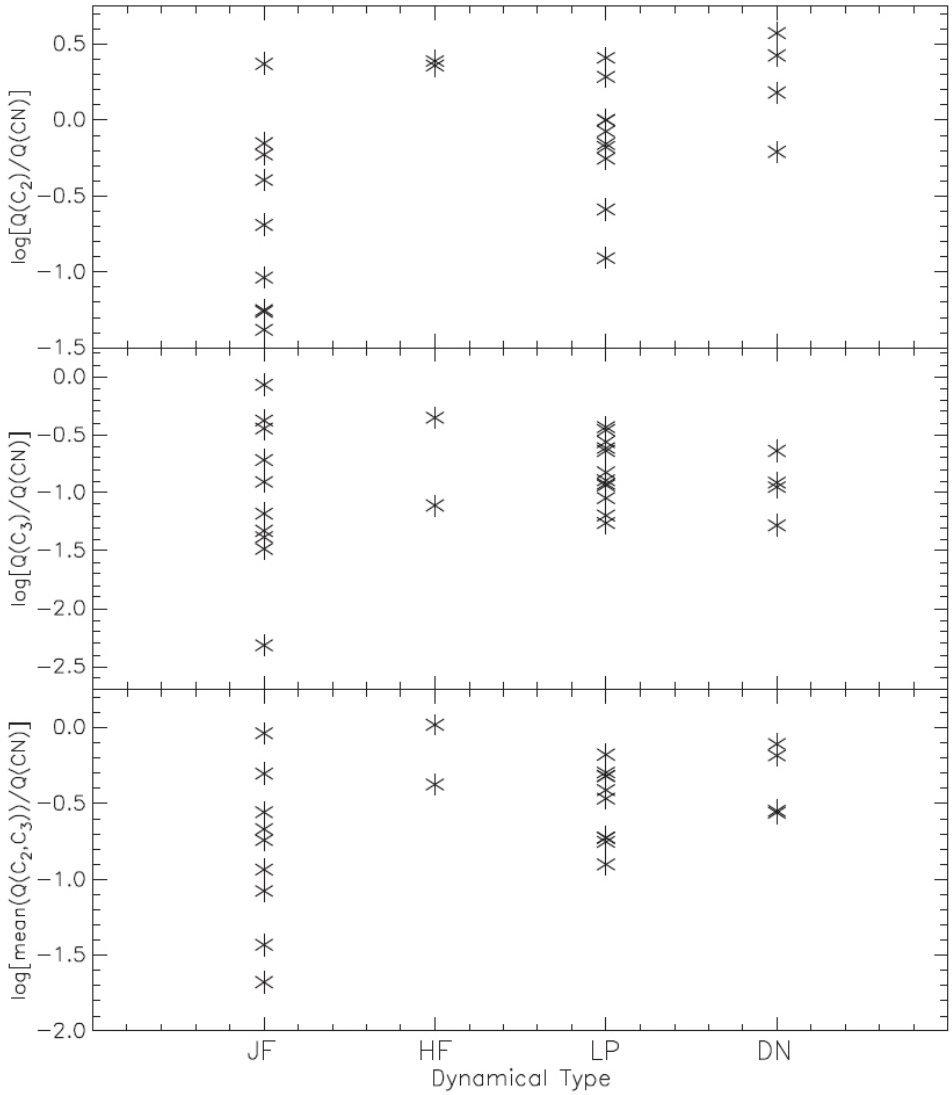
olarak Tablo 6.4'de verilmektedir. Çalışmada Jupiter ailesi ve uzun dönemli kuyrukluyıldızlar C_2 bakımından tükenmiş olduğu görülmektedir. Bunların arasında ise Jupiter ailesi olanların daha tükenmiş olduğu belirtilmektedir.



Şekil 6.11 Karbon içerikli gazların Güneş'e olan uzaklığa göre üretim oranları. Jupiter Ailesi kuyrukluyıldızlar "J", Halley tipi kuyrukluyıldızlar "H", uzun dönemli kuyrukluyıldızlar "L" ve yeni dinamik sınıflanmış kuyrukluyıldızlar "N" ile gösterilmektedir (Langland-Shula ve Smith ,2011).

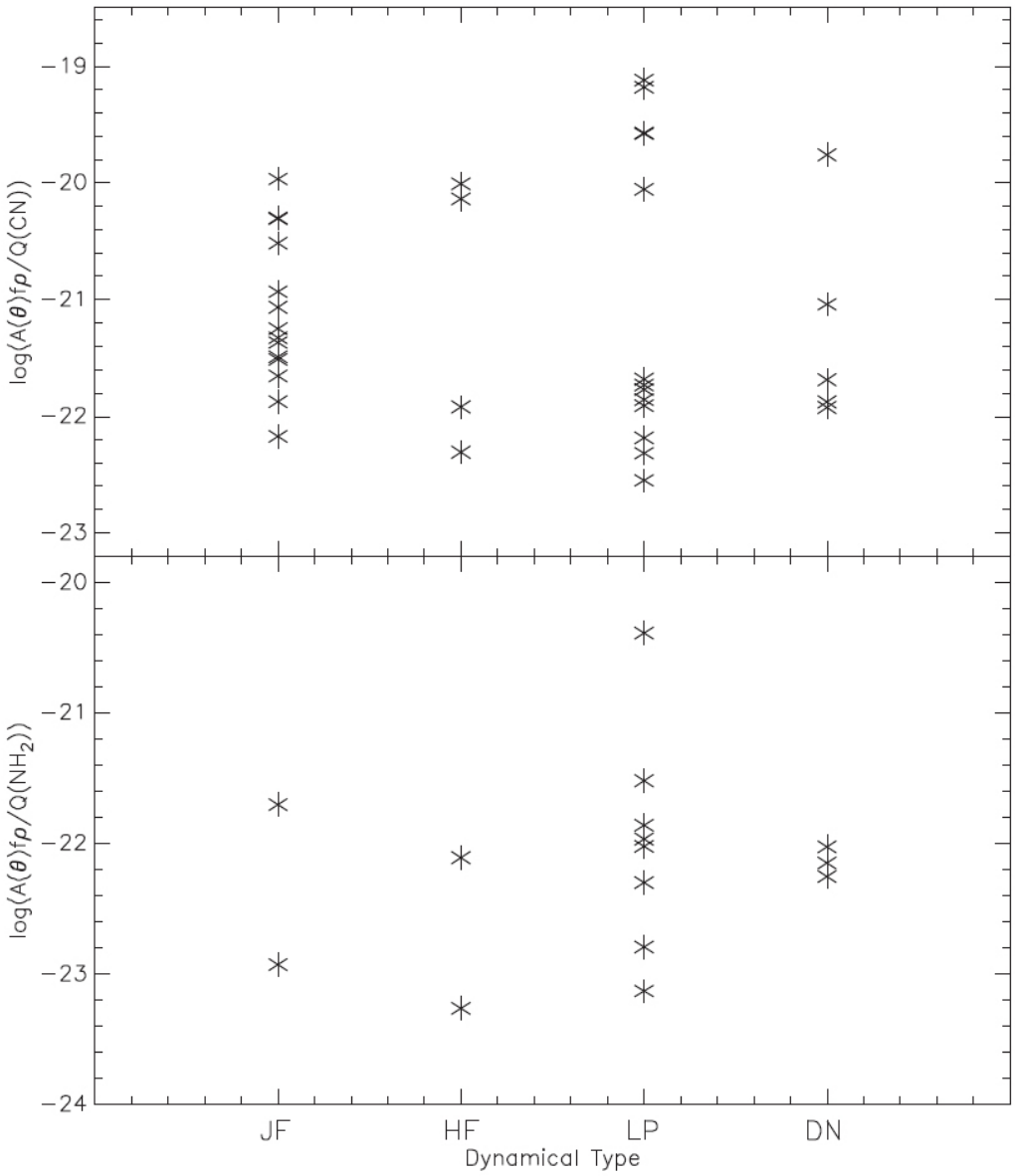
Tablo 6.4 Dinamik sınıflara göre üretim oranları (Langland-Shula ve Smith ,2011).

	JF	**HT**	**LP**	**DN**
log($Q(C_2)/Q(CN)$)				
Ortalama	-0.7 ± 0.2	0.02 ± 0.01	-0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.2
Orta değer	-0.69	0.00	-0.07	0.43
log($Q(C_3)/Q(CN)$)				
Ortalama	-1.0 ± 0.1	- 0.8 ± 0.4	-0.8 ± 0.1	-0.9 ± 0.1
Orta değer	-0.91	-0.89	-0.82	-0.91



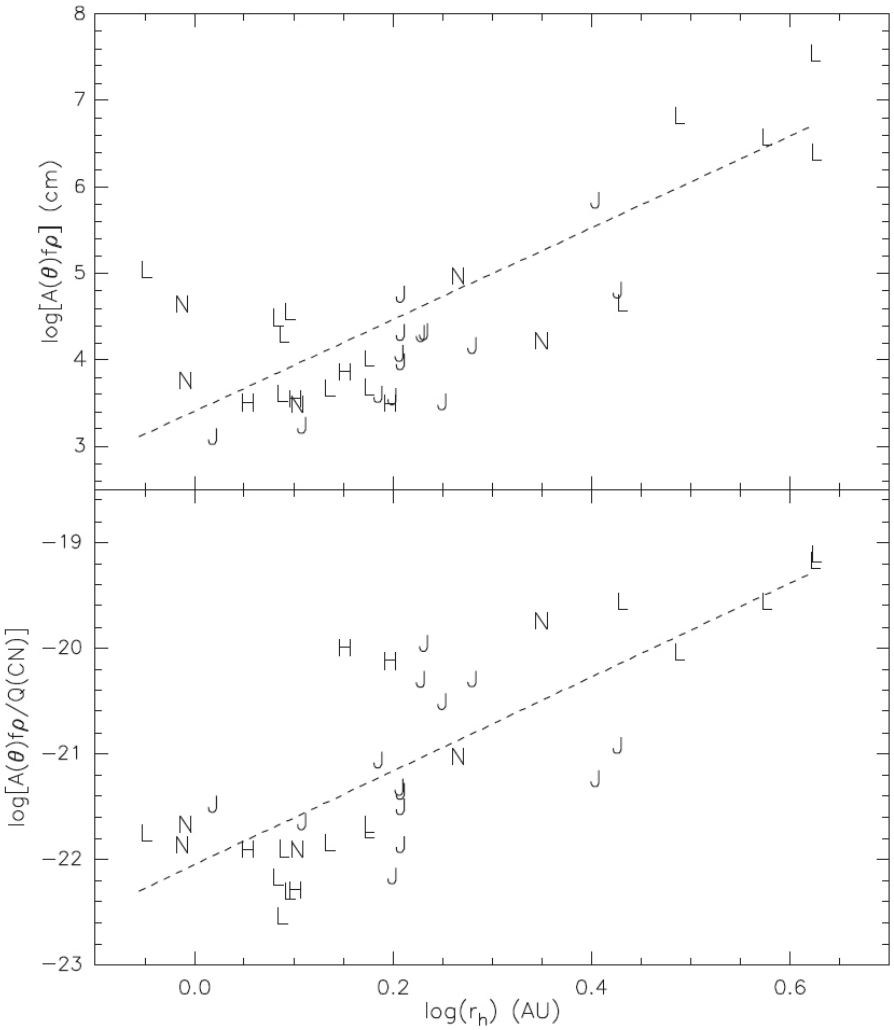
Şekil 6.12 Dinamik sınflara göre üretim oranlarının dağılımı (Langland-Shula ve Smith, 2011).

Çalışmada toz üretimi ile olan ilişki de incelenmiştir. Toz üretim parametresi olan $Af\rho$ bu inceme için kullanılmıştır. Toz-gaz üretim oranları dinamik sınıflara göre (Şekil 6.13) ve Güneş'e uzaklığa göre (Şekil 6.14) incelenmiştir. İnceleme sonucunda araştırmacılar dinamik sınıflandırma ile toz üretim oranları arasında doğrudan bir ilişki olmadığını ve Güneş'e uzaklık ile A'Hearn et al. (1995) çalışmasında verildiği gibi bir ilişki bulduklarını belirtmişlerdir.

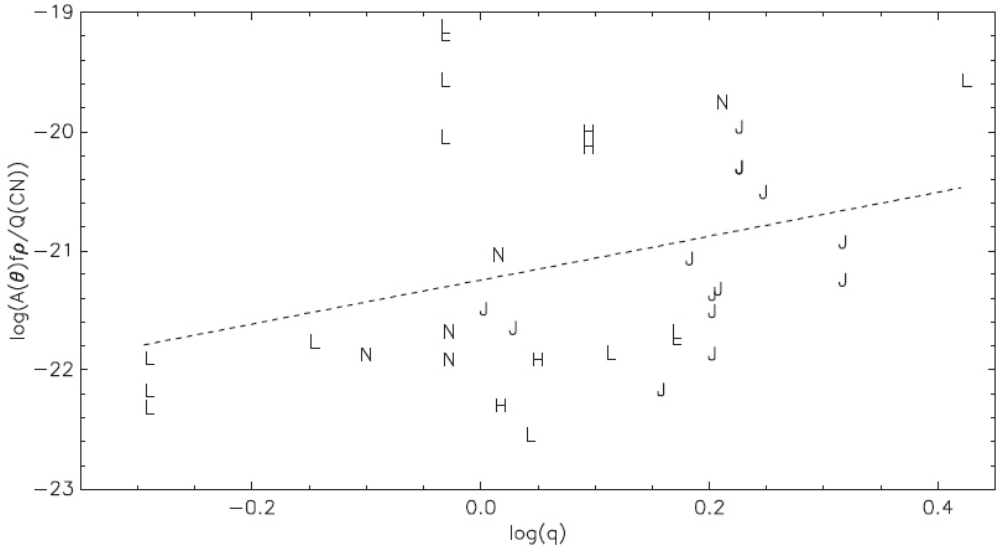


Şekil 6.13 Toz-gaz oranının dinamik sınıflara göre dağılımı (Langland-Shula ve Smith, 2011).

Son olarak çalışmada enberi uzaklığı ile toz-gaz oranı arasındaki ilişki incelenmiş (Şekil 6.15) ve sonuçta düşük enberi uzaklığında, düşük toz-gaz oranı görüldüğü bildirilmiştir. Bunun nedeni de Fink (2009) çalışmasında olduğu gibi yaşlanma etkisi olarak açıklanmıştır.



Şekil 6.14 Toz üretim parametresi ve toz-gaz oranının Güneş'e uzaklığa göre değişimi (Langland-Shula ve Smith, 2011).



Şekil 6.15 Toz-gaz oranının enberi uzaklığına göre değişimi (Langland-Shula ve Smith, 2011).

6.2 Çalışma Verileri

Çalışmamız için farklı yöntemler ile bulunmuş gaz ve toz üretim verileri aralarında bulunan ilişkinin araştırılması amacı ile toplanmıştır. Bu veriler alınırken en fazla istatistiki veri toplanması amacı ile bir filtreleme yöntemi uygulanmamıştır. Veriler içerisinden çalışma için karşılaştırma yapılacak verilere sahip olanlar seçilmiştir. 509 adet gözlem verisi toplanmıştır. Bu verilerde bulunan kuyrukluyıldızlar NASA JPL sisteminden alınan yörünge verileri ile birleştirilerek Ek 1'de verilen tablo elde edilmiştir.

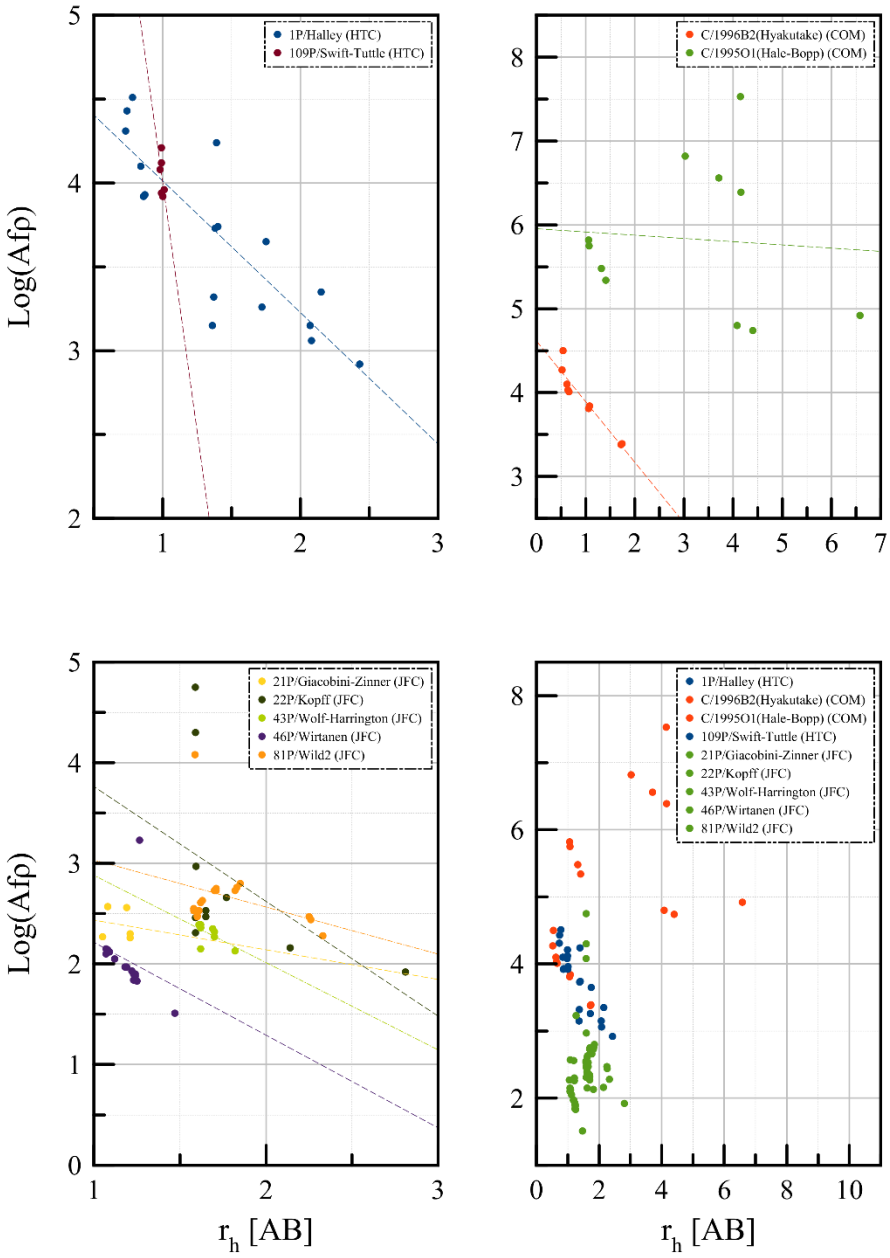
Verilerin dinamik sınıflandırmalarına ilişkin dağılım Tablo 6.5'de verilmektedir. Veriler aşağıdaki bölümlerde; COM: Dinamik olarak sınıflandırılmamış, ETC: Encke tipi, HTC: Halley tipi, HYP: Hiperbolik, PAR: Parabolik, JFC: Jupiter ailesi kuyrukluyıldızlar şeklinde kısaltmalar ile verilmiştir.

Tablo 6.5 Verilerin dinamik sınıflara göre dağılımı.

Dinamik Sınıf	Sayı
Halley Tipi	42
Encke Tipi	11
Jupiter Ailesi	283
Parabolik	5
Hiperbolik	44
Sınıflandırılmayan	124

6.3 Analizler ve Sonuçlar

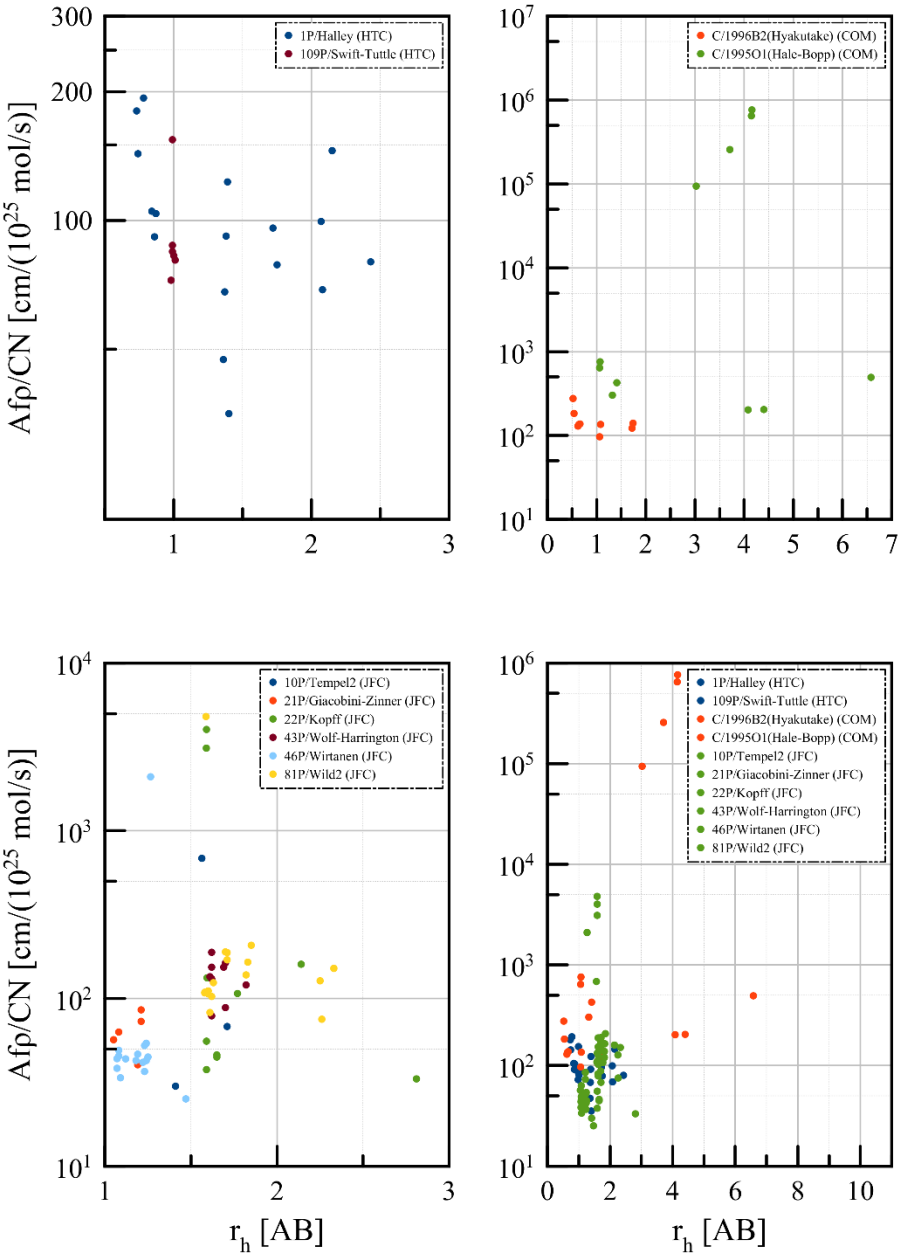
Kuyrukluyıldızlara ait veriler içerisinde dinamik sınıflar ile üretim oranları arasındaki bağıntılar grafik yöntemi ile araştırılmıştır. İlk olarak sekiz veya daha fazla gözleme sahip kuyrukluyıldızlar üzerinden, üretim oranlarının Güneş'e uzaklığa göre değişimleri incelenerek toz üretim miktarının (Şekil 6.16), toz-gaz ve gaz-gaz üretim oranlarının değişimine bakılmıştır.



Şekil 6.16 Güneş'e olan uzaklığa göre toz üretim parametresindeki değişimi. Kuyrukluyıldızların verileri aynı renkteki kesikli çizgiler ile temsil edilmektedir.

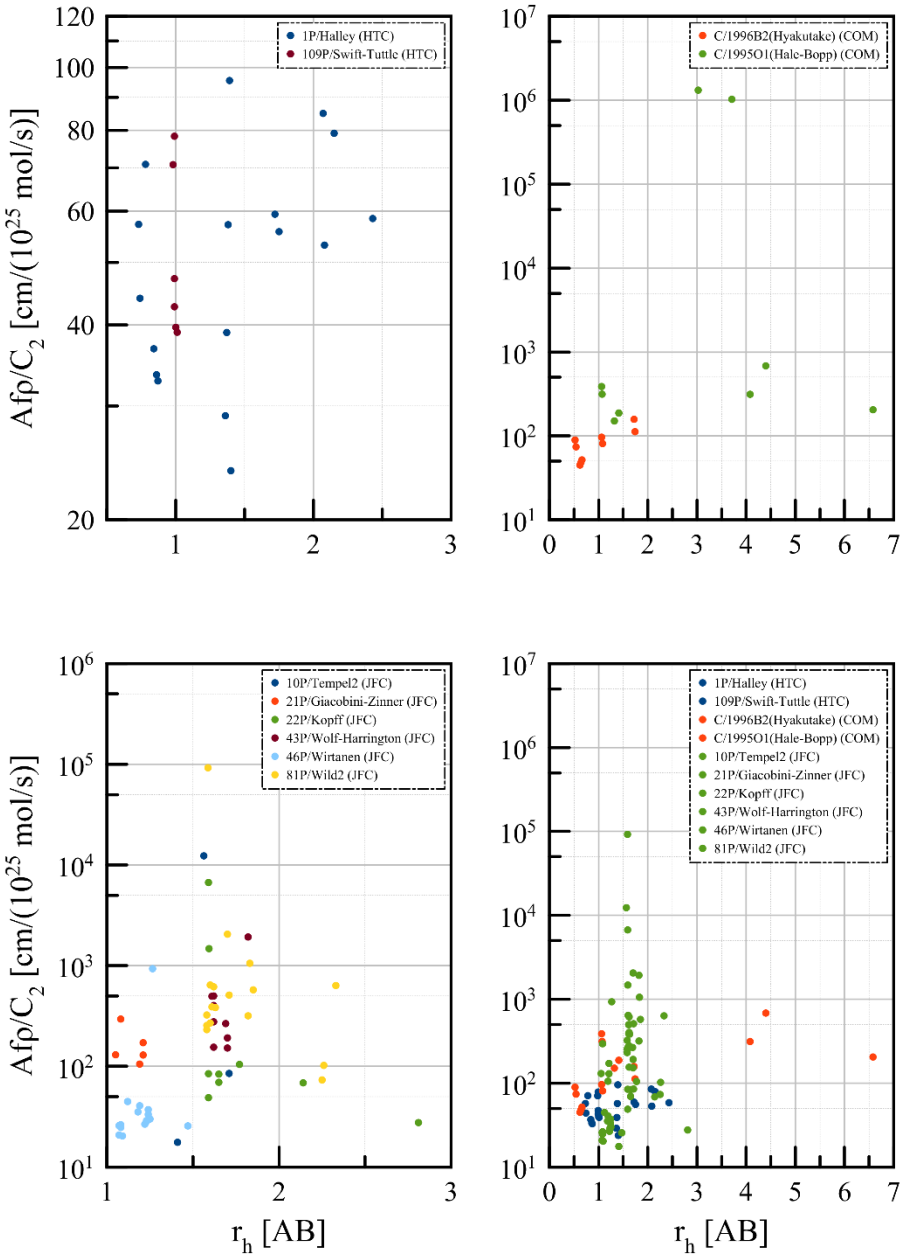
Toz üretim miktarlarında (Şekil 6.16) Jupiter ailesi için Güneş'e yaklaştıkça artma eğilimlerinin birbirlerine benzer olduğu görülmektedir. 1P kuyrukluyıldızının da bu eğilime yakın olduğu gözlenmektedir. 109P ve C/1996B2

kuyrukluyıldızlarının da aynı yönde ancak daha dik artış gösteren eğilimleri görülmektedir.



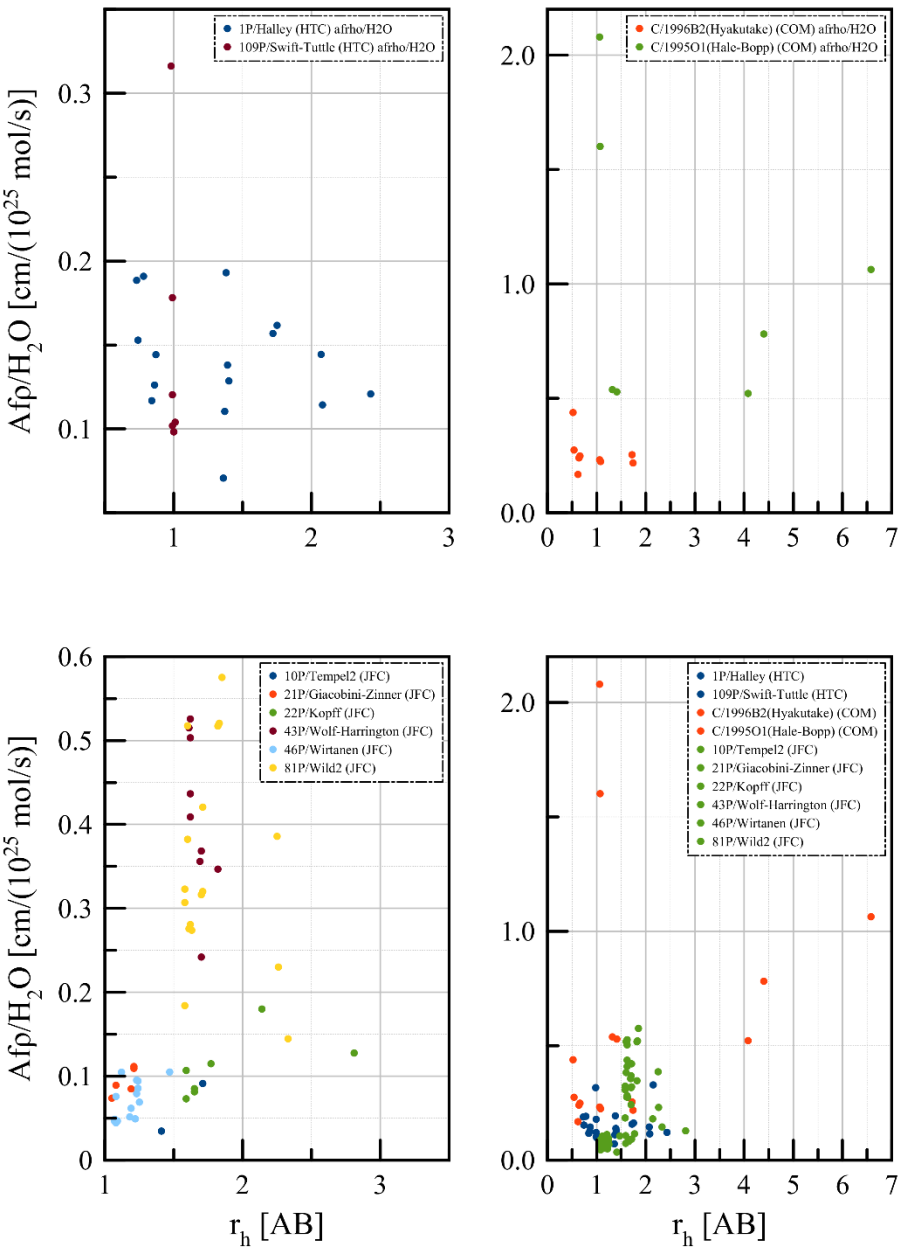
Şekil 6.17 Toz üretim parametresinin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi(Dikey eksenler logaritmik olarak ölçeklendirilmiştir.).

Toz üretiminin CN üretimine göre değişimine (Şekil 6.17) bakıldığında 22P kuyrukluyıldızı dışında 2 AB yöresinden itibaren Güneş'e yakınlaştıkça artan bir eğilim görülmektedir ve kimyasal içerik ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. 10P kuyrukluyıldızı için yorum yapmaya yetecek kadar veri bulunmamaktadır.



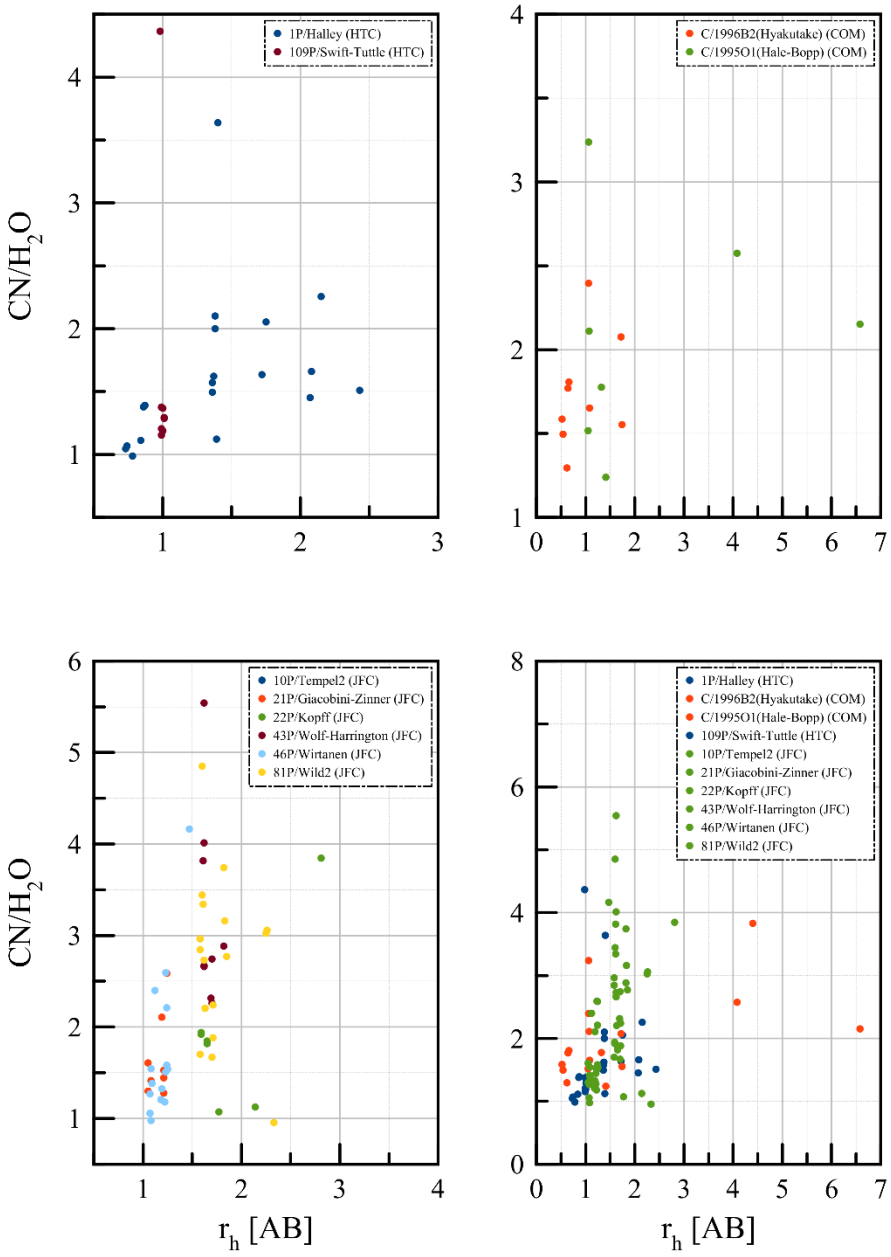
Şekil 6.18 Toz üretim parametresinin C_2 üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi (Dikey eksenler logaritmik olarak ölçeklendirilmiştir.).

Toz üretiminin C_2 üretimine oranında (Şekil 6.18) sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlarda Güneş'e yakınlaştıkça düşen bir oran ve Jupiter ailesi kuyrukluyıldızlarda ise durum bunun tersine artan bir eğilimin karşımıza çıkmasının sebebi kuyrukluyıldızların karbonca tükenmiş olması düşünülmektedir.



Şekil 6.19 Toz üretim parametresinin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi.

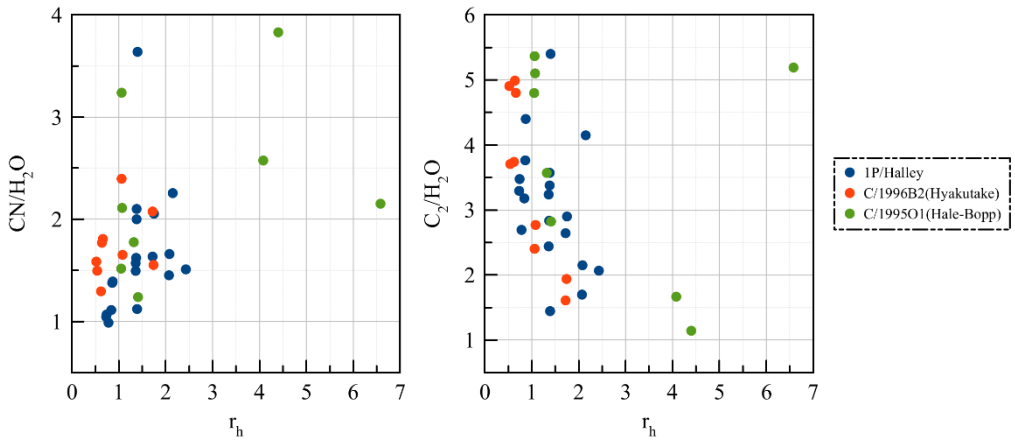
Aktivite temeli olarak kabul edilen su buharına oranla toz çıkışlarına (Şekil 6.19) bakıldığında ise oranın, uzaklıktan bağımsız olarak oranın 0 ile 2.2 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu durum toz üretiminin kuyrukluyıldız aktivitesi ile doğrudan ilişkili olduğunun bir kanıtı olarak düşünülmektedir.



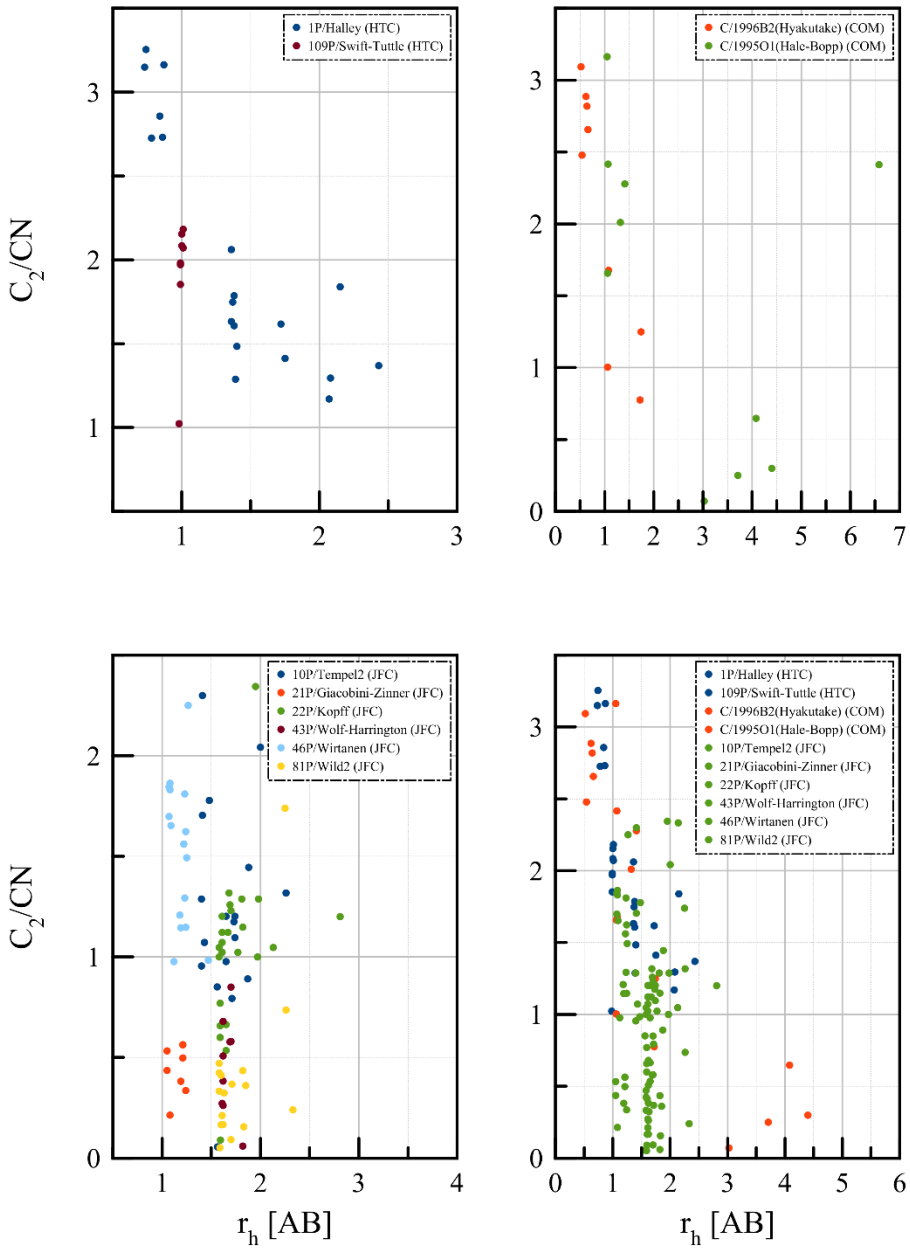
Şekil 6.20 CN üretiminin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi.

Toz-gaz üretim oranlarından sonra gaz-gaz üretim oranlarının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimine bakılmıştır. İlk olarak CN üretim miktarının su buharı üretim miktarına oranının Güneş merkezli uzaklık ile değişimine (Şekil 6.20) bakıldığında 1P, C/1996B2 ve C/1995O1 benzer şekilde eğilimler göstermektedir. Bu üç kuyrukluyıldız Güneş'e yaklaştıkça su buharına oranla daha az artış gösteren CN üretimlerine sahiptir. Bu iki incelemeye bakılarak 1P, C/1996B2 ve C/1995O1 kuyrukluyıldızları için tipik kuyrukluyıldızlar sınıflandırmasına uygundur yorumu yapılabilmektedir. Bu üç kuyrukluyıldız Şekil 6.21'de bir arada verilmektedir.

Karbon içeren bileşiklerin birbirlerine göre üretim oranlarının değişimi (Şekil 6.22) incelendiğinde 1P, C/1996B2, C/1995O1 ve 46P kuyrukluyıldızlarında belirgin biçimde Güneş'e yaklaştıkça üstel bir oranda artışı gözlenmektedir. Jupiter ailesinde bu oranlar genel olarak artma veya azalma görülmemektedir.

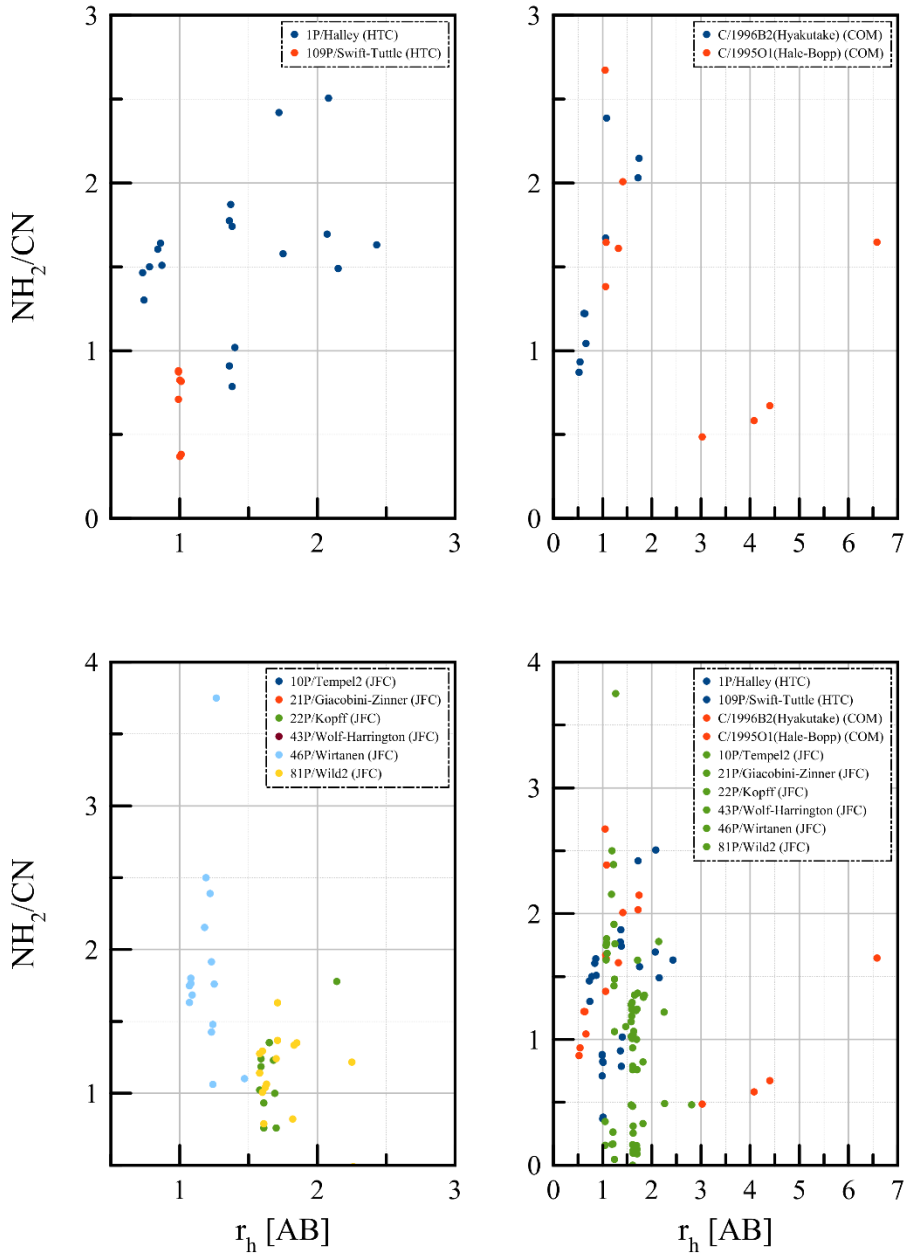


Şekil 6.21 1P, C/1996B2 ve C/1995O1 kuyrukluyıldızlarının Güneş'e uzaklığa bağlı olarak karbon içerikli bileşiklerinin üretiminin su buharı üretimine oranı.



Şekil 6.22 C_2 üretiminin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi.

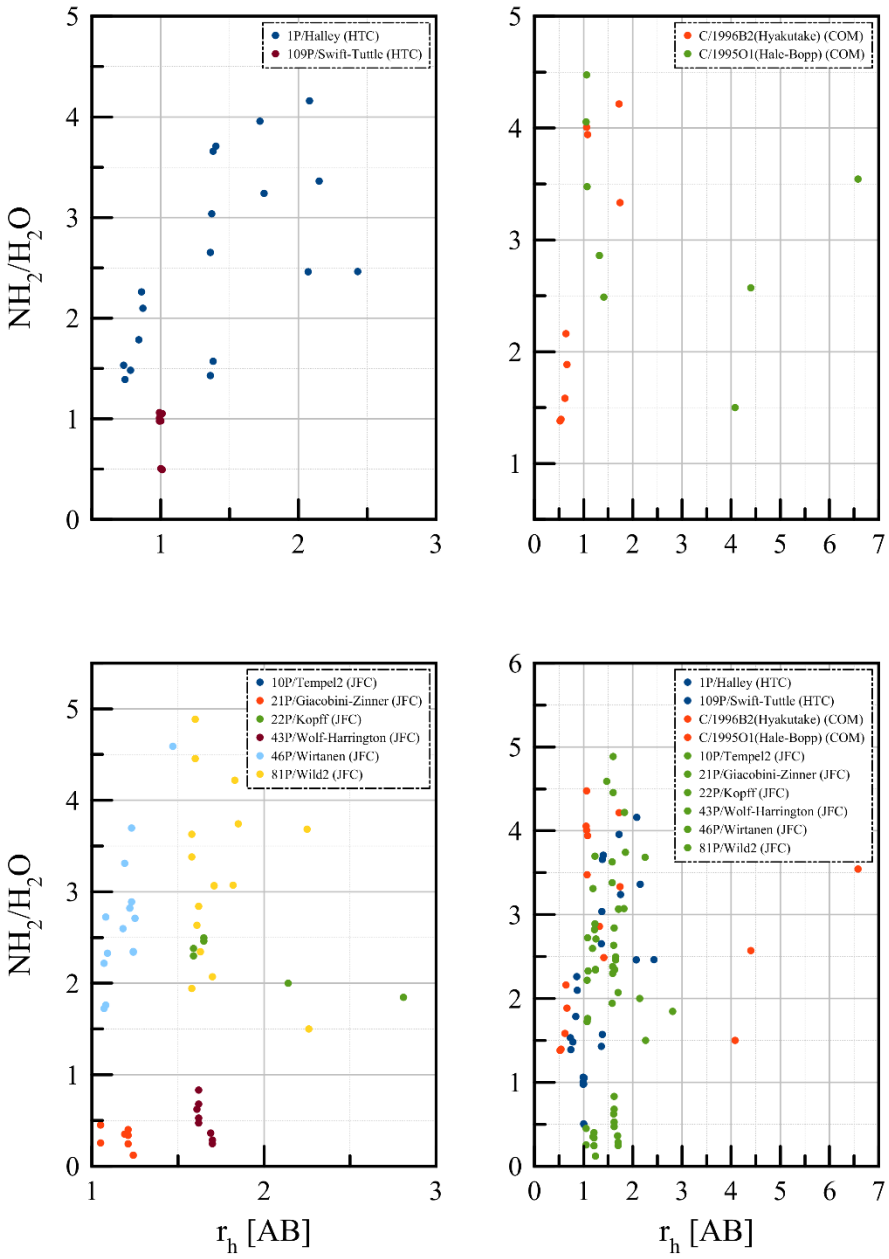
NH_2 üretimi ile CN üretimi arasındaki oranın değişimine (Şekil 6.23) bakıldığında Güneş'e olan uzaklıktan bağımsız olarak değerlerde saçılma görülmektedir. Bu saçılmanın nedeni farklı kaynak verilerinin kullanılması olabileceği gibi hata paylarının dahil edilmemesi de olabilir.



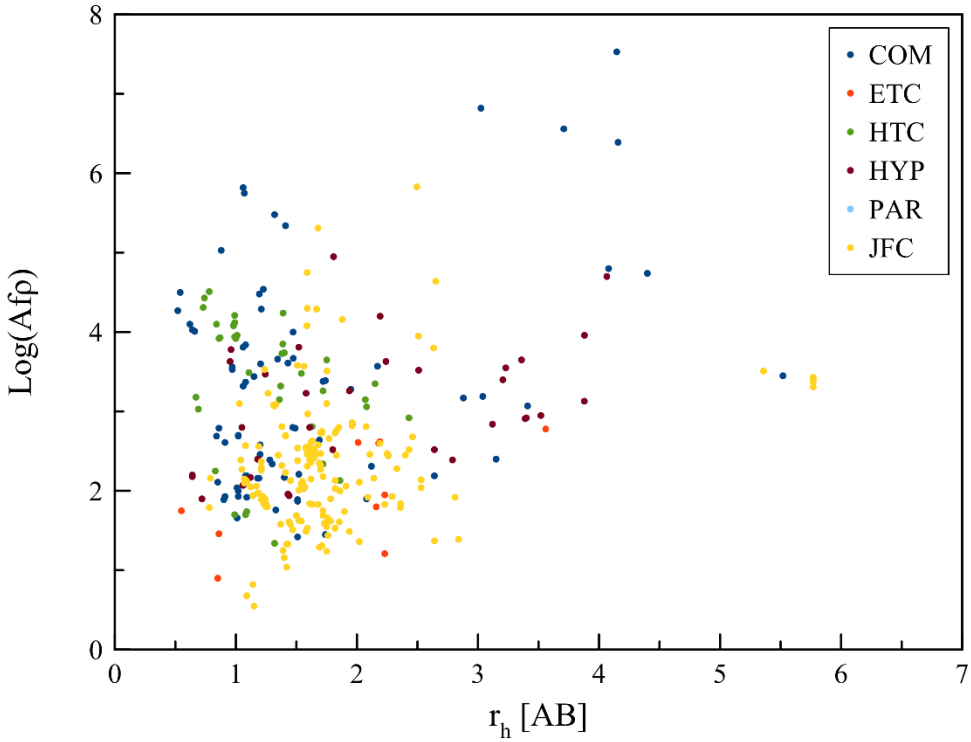
Şekil 6.23 NH_2 üretiminin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi.

NH_2 üretiminin su buharı üretimine oranındaki değişime (Şekil 6.24) bakıldığında 1P, 46P ve C/1996B2 kuyrukluyıldızlarında Güneş'e yaklaştıkça düşüş eğilimi görülmektedir. C1995O1 ve 43P için durum aksi yönde karşımıza

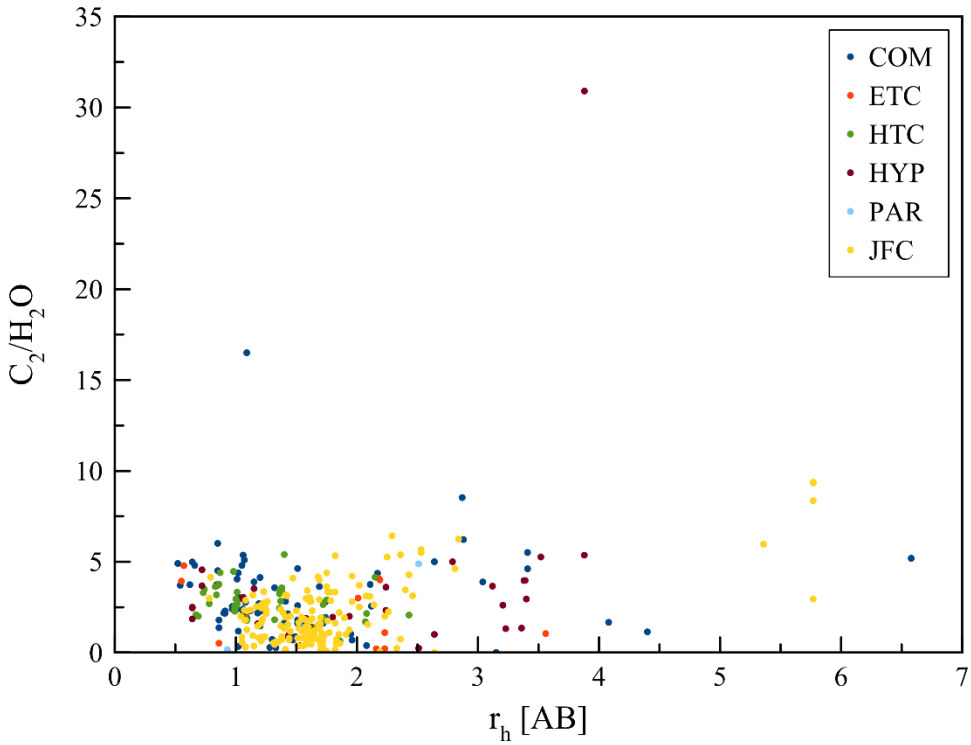
çıkmaktadır. Diğer kuyrukluyıldızlar için veriler yorum yapılamayacak kadar saçılmalı görülmektedir.



Şekil 6.24 NH_2 üretiminin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi.



Şekil 6.25 Toz üretim parametresinin Güneş'e olan uzaklığa göre değişimi.

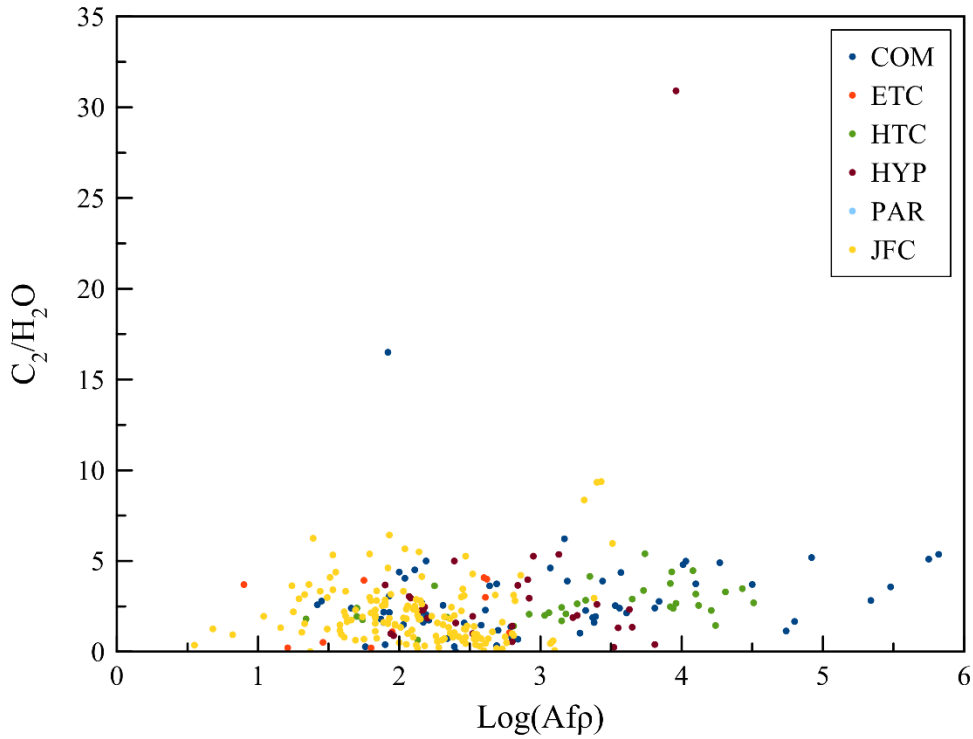


Şekil 6.26 Güneş'e olan uzaklığa göre C_2/H_2O oranının değişimi.

Tüm verileri dinamik sınıflara göre incelediğimizde (Şekil 6.25), toz üretim parametre verilerinin belirgin bir bölgesel toplanma göstermediği görülmektedir. Bunun yanında Güneş'e yakın mesafelerdeki saçılmanın uzak mesafelerdekine göre daha az olduğu dikkati çekmektedir. Bu durumun verilerdeki hata payının bir sonucu olabileceği gibi veri yoğunluğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

C_2/H_2O oranının Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımına bakıldığında (Şekil 6.26) kuyrukluyıldızların dinamik sınıflarından bağımsız olarak belirli bir oran aralığında bulundukları görülmektedir. Bu oran "$0 < \frac{C_2}{H_2O} < 8$" aralığında yer almaktadır.

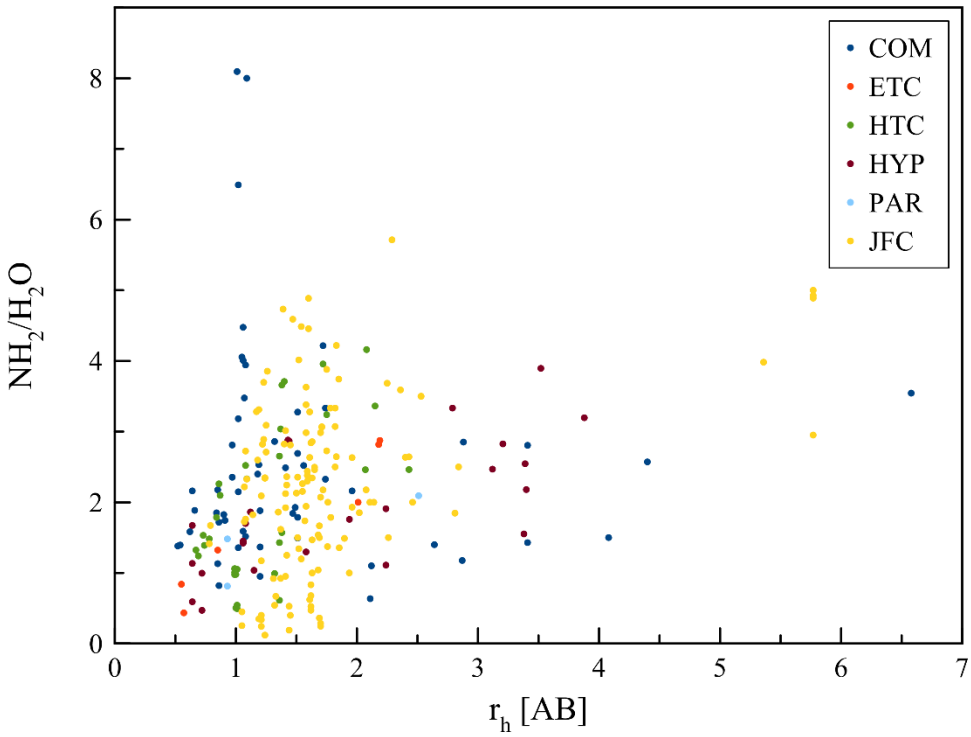
C_2/H_2O oranının toz üretim parametresine göre dağılımına (Şekil 6.27) bakıldığında ise Güneş'e olan uzaklığa göre dağılıma benzer bir oluşum görülmektedir. Bu iki grafiğe göre kuyrukluyıldızlar için C_2/H_2O oranına göre doğrudan ayırt edici bir bağlantı olduğuna yönelik yorum yapılamamaktadır.



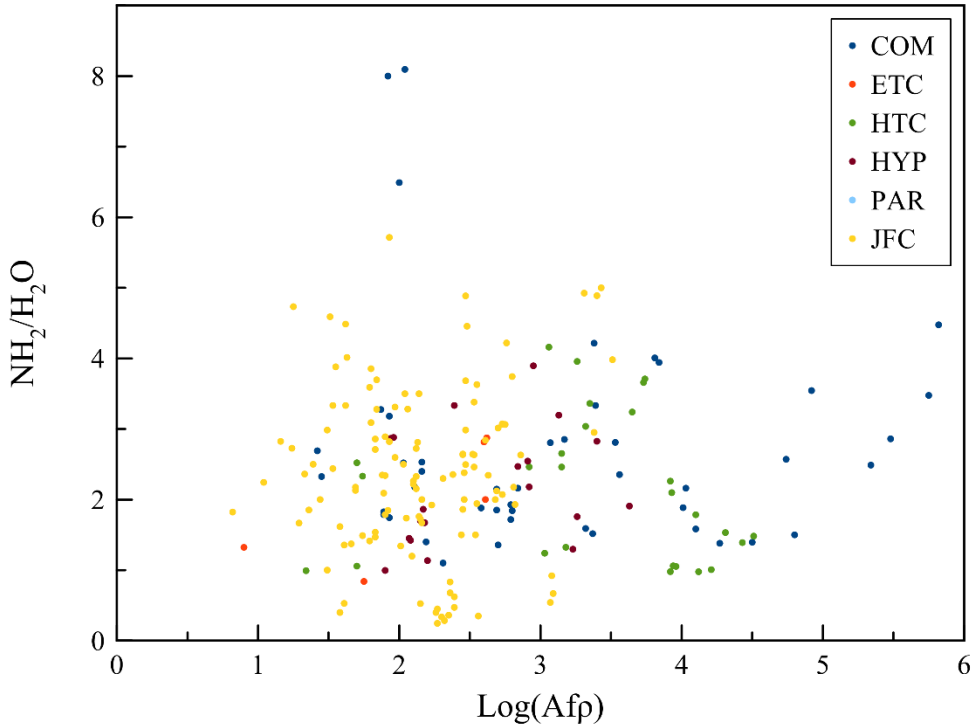
Şekil 6.27 Toz üretim parametresine göre C_2/H_2O oranının değişimi.

NH_2/H_2O oranının Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı (Şekil 6.28) incelendiğinde; kuyrukluyıldızların dinamik sınıflarından bağımsız bir şekilde $0 < \frac{NH_2}{H_2O} < 8$ aralığında dağıldığı görülmektedir. Oran, $r_h < 1\ AB$ olduğu durumlarda $\frac{NH_2}{H_2O} < \sim 2$ dolayındadır. Buna dayanarak genel eğilimin yanında incelenen oranın Güneş'e olan uzaklık ile arasında ayırt edici bir bağlantısı olduğu düşünülmektedir.

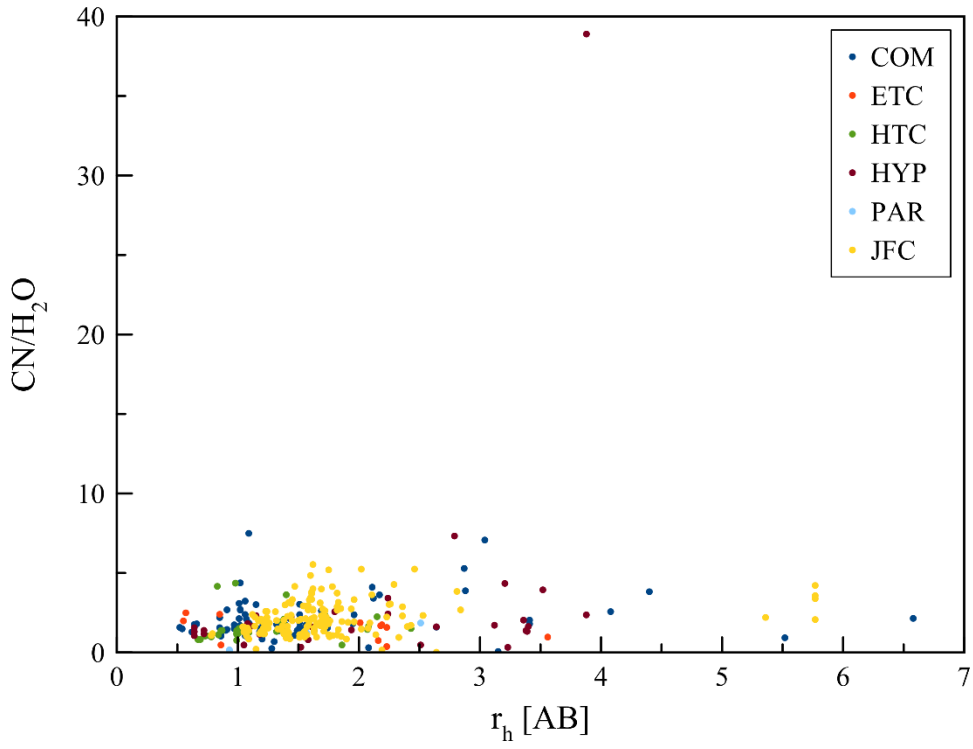
NH_2/H_2O oranı toz üretim parametresine göre (Şekil 6.29) daha rastgele bir dağılım göstermektedir. Bu nedenle doğrudan ayırt edici bir özellik olarak görülememektedir.



Şekil 6.28 Güneş'e olan uzaklığa göre NH_2/H_2O oranının değişimi.



Şekil 6.29 Toz üretim parametresine göre NH_2/H_2O oranının değişimi.

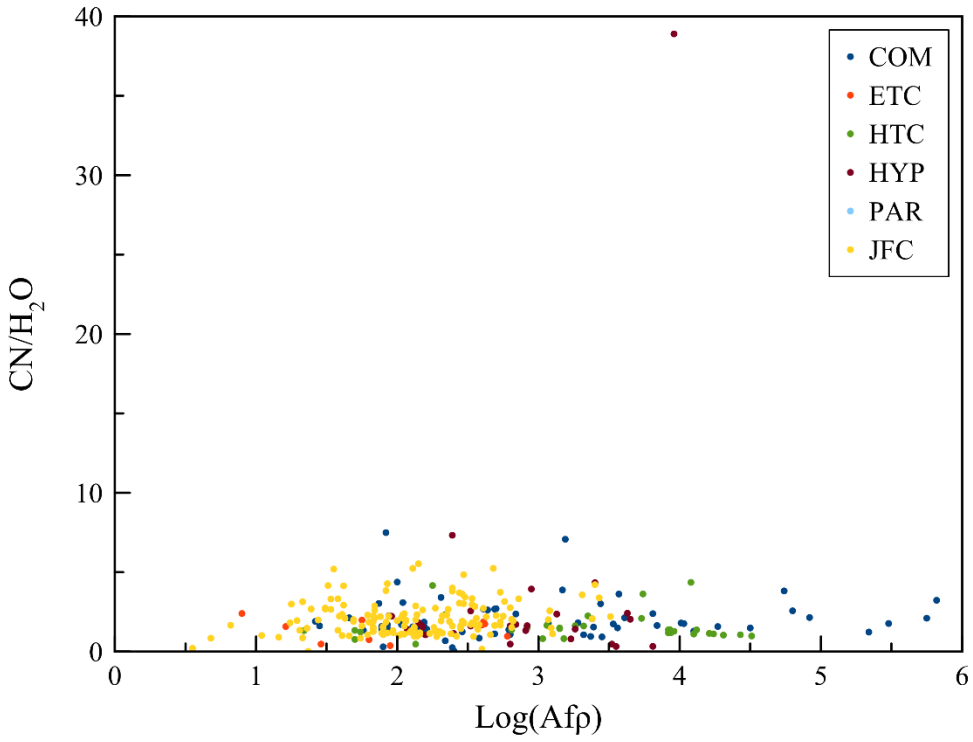


Şekil 6.30 Güneş'e olan uzaklığa göre CN/H_2O oranının değişimi.

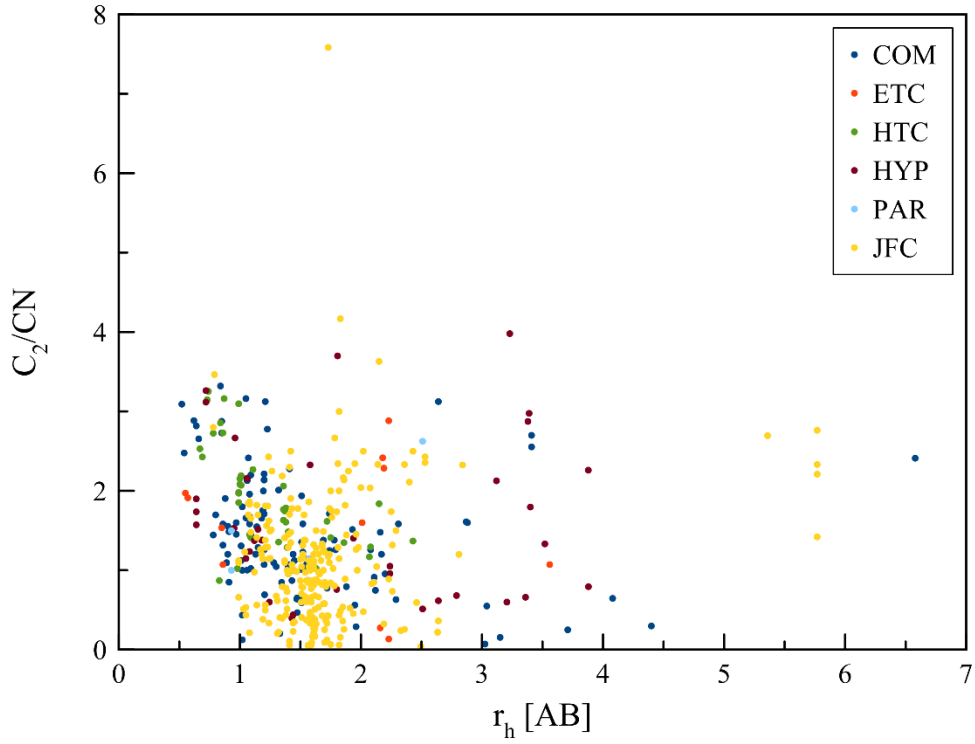
CN/H_2O oranının Güneş'e olan uzaklığa (Şekil 6.30) göre dağılımına bakıldığında bir adet veri dışında kuyrukluyıldızlardaki bu oranın yörünge sınıflarından bağımsız olarak $0 < \frac{CN}{H_2O} < 8$ aralığında dağıldığı gözlenmektedir. Bu durumda iki dinamik sınıflandırma ile oran arasında doğrudan bir ilişki göze çarpmamaktadır.

CN/H_2O oranının toz üretim parametresine göre dağılımına (Şekil 6.31) bakıldığında da Güneş merkezli uzaklıkta karşımıza çıkana benzer bir sonuç karşımıza çıkmaktadır. Bu iki parametre arasında da doğrudan bir bağlantı gözlenememiştir.

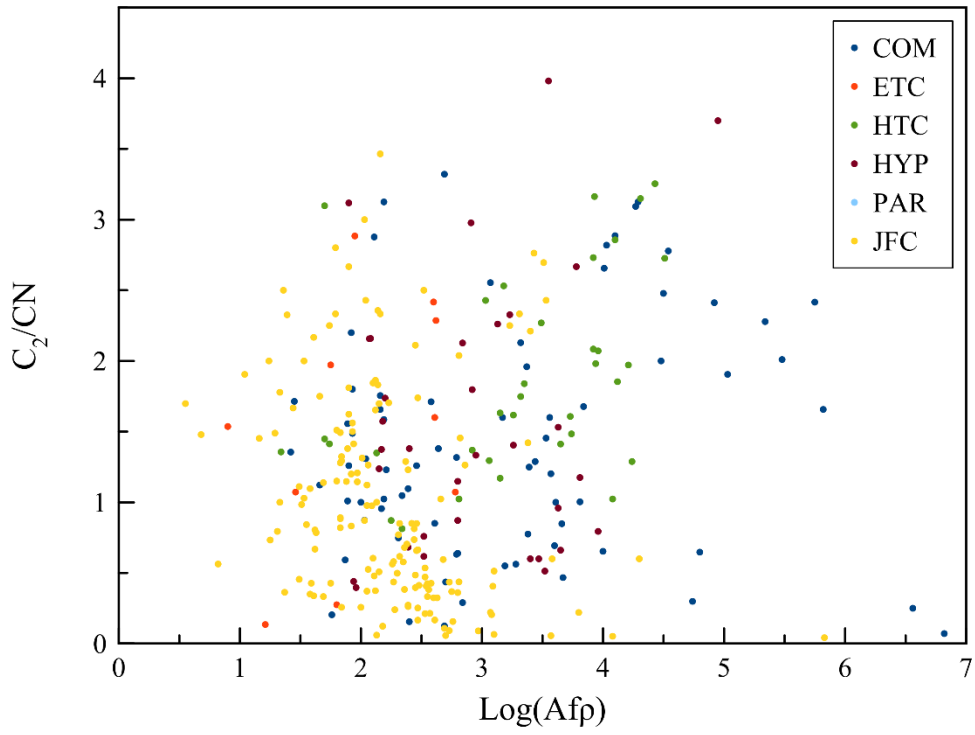
Karbon bileşenlerinin oranlarına bakıldığında; C_2/CN oranının Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı (Şekil 6.32) genel olarak $0 < \frac{C_2}{CN} < 4$ aralığında yer almaktadır. Bu grafik üzerinde Halley tipi kuyrukluyıldızlarda Güneş'e olan uzaklık azaldıkça oranın yükseldiği göze çarpmaktadır.



Şekil 6.31 Toz üretim parametresine göre CN/H_2O oranının değişimi.



Şekil 6.32 Güneş'e olan uzaklığa göre C_2/CN oranının değişimi.

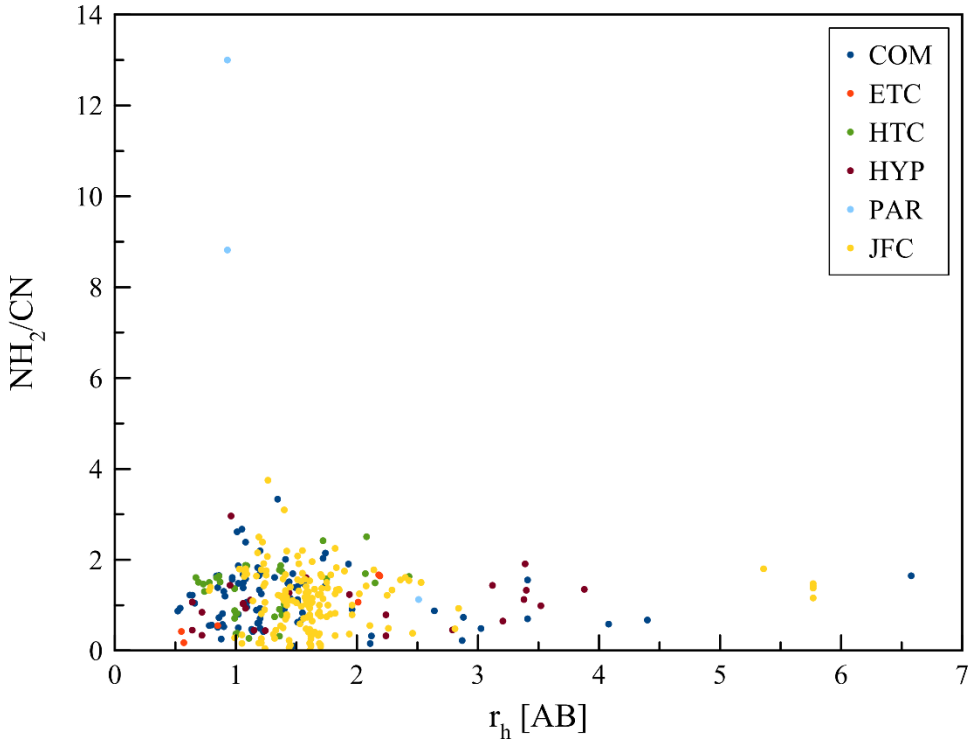


Şekil 6.33 Toz üretim parametresine göre C_2/CN oranının değişimi.

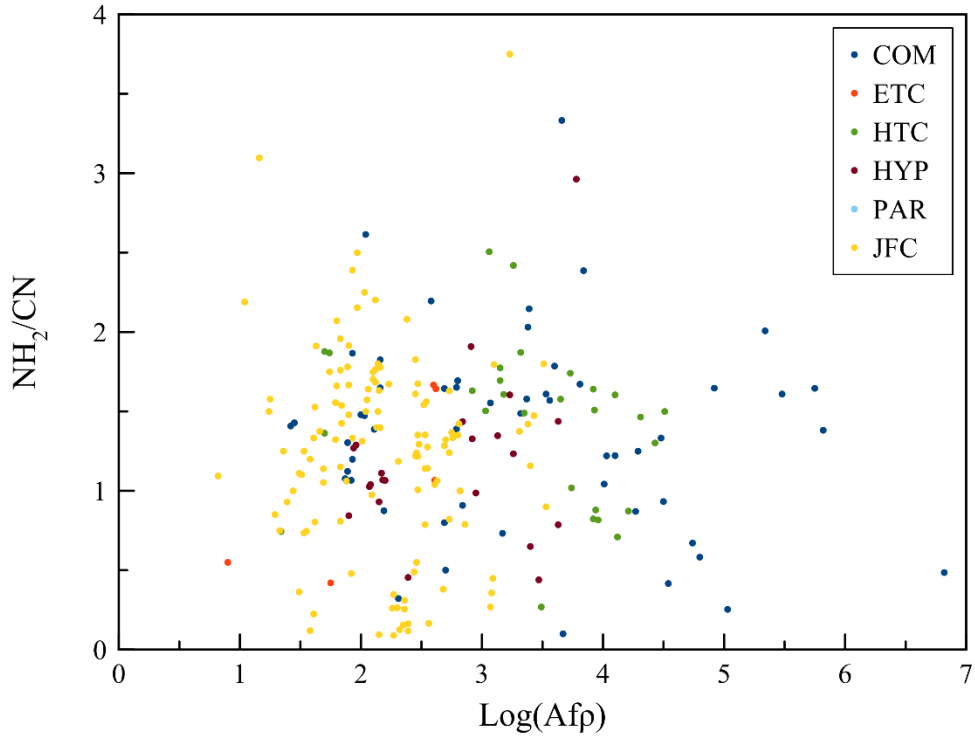
Karbon bileşenlerinin oranının toz üretim parametresine göre dağılımında (Şekil 6.33) ise doğrudan göze çarpan bir ilişki bulunamamaktadır. Ancak Halley tipi kuyrukluyıldızlar için aktivite artışı ile birlikte oranda da bir artış eğilimi göze çarpmaktadır. Bu durumun Halley tipi kuyrukluyıldızlarda Güneş'e yaklaştıkça artan aktivite (Şekil 6.16) ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Temel iki uçucuya ait bileşiklerin oranlarına bakıldığında NH_2/CN oranının Güneş'e uzaklıklarına göre dağılım (Şekil 6.34) oranının $0 < \frac{NH_2}{CN} < 4$ aralığında değiştiği görülmektedir. Bu dağılım içerisinde sadece Encke tipi kuyrukluyıldızların Güneş'e yaklaştıkça daha düşük oranlara sahip olduğu göze çarpmaktadır.

NH_2/CN oranının toz üretim parametresine göre belirgin bir bağıntı göstermediği ve oldukça dağınık olduğu görülmektedir (Şekil 6.35).



Şekil 6.34 Güneş'e olan uzaklığa göre NH_2/CN oranının değişimi.



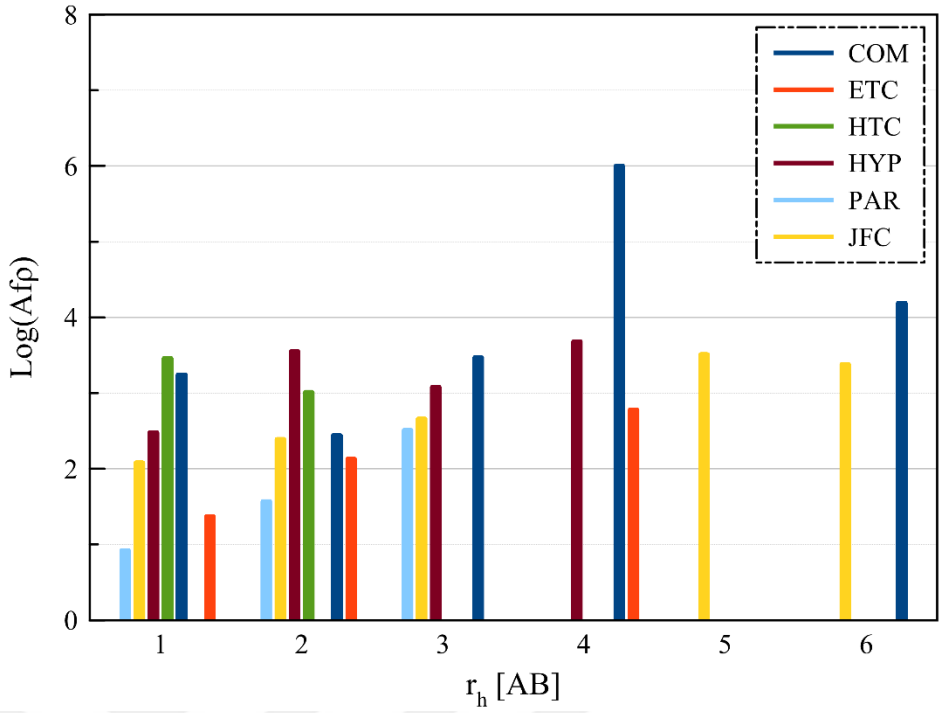
Şekil 6.35 Toz üretim parametresine göre NH_2/CN oranının değişimi.

Kullanılan verilerin dinamik sınıflandırmalarına göre Güneş'e olan uzaklıklarına bağlı olarak ortalama değerleri Tablo 6.6'de verilmektedir. Verilerin dağılımı aşağıdaki grafiklerde incelenmektedir. Bu grafiklerde görünürlüğü arttırmak amacı ile grafik limitleri sınırlandırılmıştır.

Tablo 6.6 Verilerin istatistiki dağılımı.

r_h [AB]	Log(Afρ) [cm]	CN/H_2O	C_2/H_2O	NH_2/H_2O	CN/OH	C_2/OH	C_3/OH	NH/OH	C_2/CN	C_3/CN	NH/CN	NH_2/CN
COM												
0.5-1.5	3.24	1.84	3.04	2.65	7.52	8.34	1.72	15.75	1.58	0.16	1.19	1.24
1.5-2.5	2.44	2.23	2.29	2.32	3.25	3.85	0.31	5.65	1.12	0.19	1.75	1.12
2.5-3.5	3.47	3.11	4.83	1.93	7.67	2.60	1.29	13.37	1.55	0.12	53.40	0.76
3.5-4.5	6.00	3.20	1.40	2.04					0.40	0.24		0.63
5.5-6.5	4.19	1.54	5.19	3.54	0.54				2.41			1.65
ETC												
0.5-1.5	1.37	1.85	3.23	0.87	3.24	3.47	0.45	3.24	1.62	0.14	1.00	0.38
1.5-2.5	2.13	1.34	2.10	2.56	1.05	0.52	0.03	6.07	1.60	0.02	13.87	1.46
3.5-4.5	2.78	0.98	1.05		0.71	0.76	0.04	13.80	1.07	0.06	19.50	
HYP												
0.5-1.5	2.48	1.52	2.37	1.51	3.18	3.43	0.27	3.85	1.66	0.11	0.89	1.05
1.5-2.5	3.55	1.80	1.94	1.52	2.56	2.34	0.23	3.84	1.53	0.10	1.12	0.99
2.5-3.5	3.08	2.22	2.61	2.48	1.59	1.54	0.20	26.04	1.68	0.11	12.03	1.15
3.5-4.5	3.68	15.07	13.84	3.55	0.47	0.37	0.11	8.71	1.46	0.25	18.62	1.17
PAR												
0.5-1.5	0.92	0.06	0.09	0.81					1.50			13.00
1.5-2.5	1.57	1.23	1.41		10.96	12.59	0.44		1.15	0.04		
2.5-3.5	2.51	1.86	4.88	2.09					2.63			1.13
JFC												
0.5-1.5	2.08	1.72	1.75	1.89	532.38	1290.23	106.22	420.84	1.22	0.38	70.19	95.34
1.5-2.5	2.39	2.31	1.88	2.31	3.73	1.42	0.23	5.60	1.08	0.18	2.26	1.04
2.5-3.5	2.66	2.24	4.41	2.84	0.56	0.20	0.25	1.02	1.48	0.25	1.82	1.10
4.5-5.5	3.51	2.21	5.96	3.98					2.70			1.80
5.5-6.5	3.38	3.32	7.50	4.44					2.18			1.36
HTC												
0.5-1.5	3.46	1.59	2.94	1.60	5.68	5.82	0.62	7.65	2.07	0.10	1.16	1.14
1.5-2.5	3.01	1.64	2.17	3.27	2.98	3.07	0.14	1.98	1.32	0.06	0.99	1.89

Toz üretim parametresinin ortalama değişimi incelendiğinde (Şekil 6.36) parabolik kuyrukluyıldızların Güneş'e yaklaştıkça düşen, Halley tipi kuyrukluyıldızların ise yükselen bir eğilim gösterdiği dikkati çekmektedir. Diğer dinamik sınıflandırmalar için ise dağılımın bir aralık içerisinde artan ve azalan değerlere sahip olduğu görülmektedir.

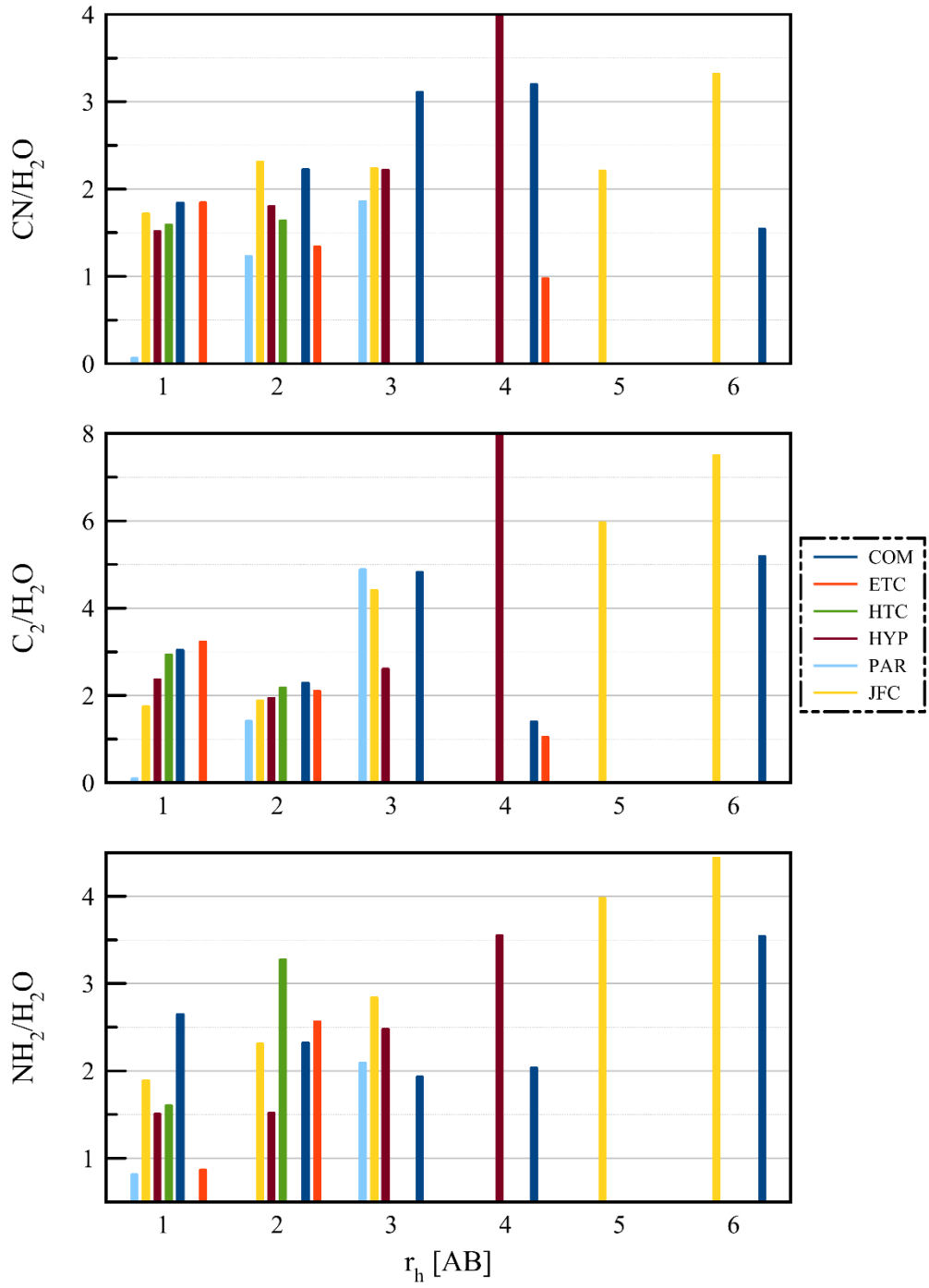


Şekil 6.36 Toz üretim parametresinin Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı.

H_2O üretimine göre olan oranlarda (Şekil 6.37) CN/H_2O oranının hiperbolik, parabolik ve sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlarda Güneş'e yaklaştıkça düştüğü, Encke tipi kuyrukluyıldızlarda ise arttığı göze çarpmaktadır. Bunların dışındaki dinamik sınıflarda belirli bir oran aralığında paralel bir eğilim görülmektedir.

C_2/H_2O oranında Parabolik ve Jupiter ailesi kuyrukluyıldızlarda Güneş'e yaklaştıkça azalan oranlar izlenirken Encke tipi ve Halley tipi kuyrukluyıldızlarda bu oranın arttığı görülmektedir. Hiperbolik ve sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlar için bu oran değişken değerlere sahiptir (Şekil 6.37).

NH_2/H_2O oranına bakıldığında (Şekil 6.37) sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlar dışında tüm dinamik sınıflar için Güneş'e olan uzaklık azaldıkça oranın da azaldığı göze çarpmaktadır. Sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlardaki bu farklılığın nedeninin kuyrukluyıldız ve gözlem çeşitliliği olabileceği düşünülmektedir (bkz. Şekil 6.24)



Şekil 6.37 Gaz üretiminin H_2O üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı.

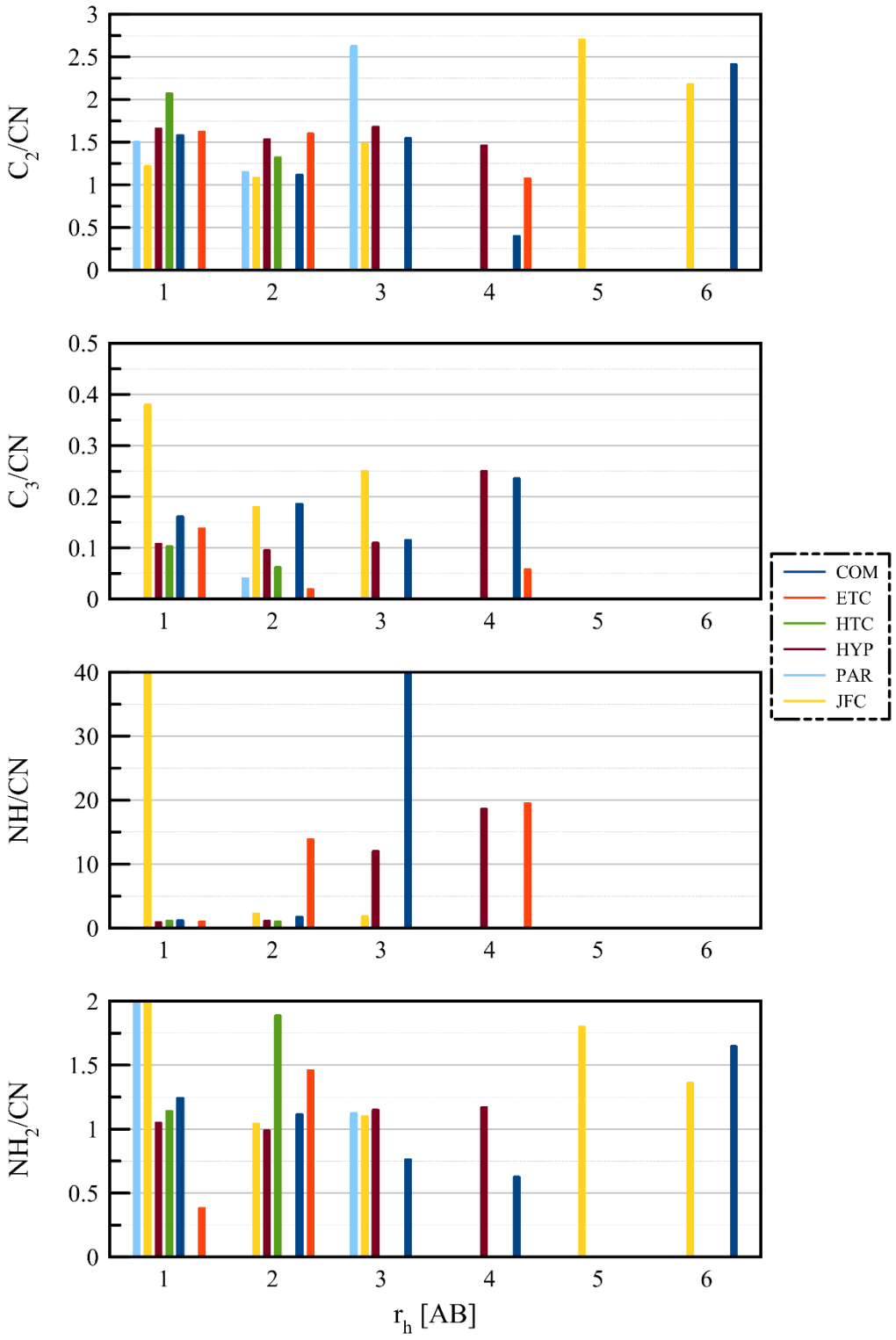
Farklı dinamik sınıflardaki kuyrukluyıldızların uçucu gaz üretimlerinin CN molekülüne oranının Güneş'e olan uzaklıklara göre ortalama dağılımları Şekil 6.38'de verilmektedir. C_2/CN oranı Jupiter ailesi kuyrukluyıldızlarda 5 AB yöresinde en büyük değere ulaşıp Güneş'e yaklaştıkça azalan bir eğilim

göstermektedir. Encke tipi ve hiperbolik kuyrukluyıldızlar 3 AB ile 4 AB yöresinde Güneş'e yaklaştıkça artan sonrasında ise sabit bir orana sahip olarak karşımıza çıkmaktadır. Halley tipi kuyrukluyıldızlar Güneş'e yaklaştıkça artan orana sahipken parabolik kuyrukluyıldızlar ise 2 AB yöresinde en düşük değerini almaktadır. Sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlar için bu grafik üzerinde genellenebilir bir davranış görülememektedir (Şekil 6.38).

C_3/CN oranının değişimi incelendiğinde Jupiter ailesi, hiperbolik ve Encke tipi kuyrukluyıldızların 2 AB yöresinde en düşük değerleri aldıkları görülmektedir. Bu durum C_3 ve CN oluşumundaki enerji gereksinimleri ile ilişkilendirilebilir. Halley tipi kuyrukluyıldızlar da en düşük değerini bu uzaklıkta vermesine rağmen Güneş'e daha uzak mesafelerde veri olmadığı için doğrudan yorum yapılamamaktadır. Sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlar bu oran için de genel bir eğilim göstermemektedir (Şekil 6.38).

NH/CN oranlarında bulunan çok yüksek değerler nedeniyle bu değerler için sadece Encke tipi ve hiperbolik yıldızlarda Güneş'e yaklaştıkça azalan oranlar dikkat çekmektedir (Şekil 6.38).

NH_2/CN oranları incelendiğinde Halley tipi ve Encke tipi kuyrukluyıldızlarda oranın Güneş'e yaklaştıkça azalan bir eğilime sahip olduğu görülmektedir. Parabolik ve sınıflandırılmamış kuyrukluyıldızlarda ise artan bir eğilim karşımıza çıkmaktadır. Hiperbolik kuyrukluyıldızlar için oranın genel olarak değişmediği görülürken Jupiter ailesi kuyrukluyıldızlar için belirgin bir eğilim izlenmemektedir.



Şekil 6.38 Gaz üretiminin CN üretimine oranının Güneş'e olan uzaklığa göre dağılımı.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Astronomlar, gezegen bilimciler ve başka disiplinlerden bilim insanları için Güneş Sistemi'nin oluşumu, gelişimi, kimyasal yapısı ve canlılık oluşumu gibi konular önemli birer araştırma alanı olmuştur. Bu araştırmalarda kuyrukluyıldızların kimyasal içerikleri, hareketleri ve çevreleri ile etkileşimlerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. İncelemelerin kolaylaştırılması ve verimli sonuçlar ortaya konabilmesi için de kuyrukluyıldızları sınıflandırma gereksinimi doğmuştur.

Bu tez çalışmasında kuyrukluyıldızların aktivitesine -dolayısıyla kimyasal yapısına- ve kuyrukluyıldızlara ait dinamik sınıflandırmaya değinilmiştir. Tez kapsamında ilk olarak kuyrukluyıldızların genel yapıları hakkında literatürdeki bilgiler derlenerek sunulmuştur. Sonrasında kuramsal olarak kuyrukluyıldızların hareketi, gezegenler ile etkileşimleri, eski ve yeni dinamik sınıflandırmaları, kuyrukluyıldız aktivitesi ve kuyrukluyıldız içerisindeki kimyasal dönüşümler açıklanmıştır.

Kuyrukluyıldızlara ilişkin literatürdeki nicel veriler toplanmış, bu kuyrukluyıldızların yörünge verileri NASA'nın JPL veri tabanından alınarak eşleştirilmiş ve dinamik sınıflarına göre ayrılmıştır. Toplamda kuyrukluyıldızlara ilişkin 509 kullanılabilir veri elde edilmiştir. Bu kuyrukluyıldızlar dinamik sınıflarına göre; 42 adet Halley tipi, 11 adet Encke tipi, 283 adet Jupiter ailesi, 5 parabolik, 44 hiperbolik ve 124 adet sınıflandırılmamış kuyrukluyıldız şeklinde ayrılmıştır.

Elde edilen veri tabanından genellenebilir sayıda verisi olan kuyrukluyıldızların davranışına bakılmıştır. Bu incelemede kuyrukluyıldızların toz üretim miktarlarındaki artış hızlarına göre üç temel artış oranı görülmüştür. Bunun yanında özellikle C_2/H_2O oranının Güneş'e yaklaştıkça logaritmik artış eğilimi göze çarpmaktadır. Elimizdeki veri sayısı doğrudan çıkarım yapmak için yeterli olmadığından bu iki bulgunun gelecek çalışmalarda incelenebileceği yorumu yapılmıştır.

Veri tabanı üzerinden -şu anki dinamik sınıflarına göre- kuyrukluyıldızların kimyasal oranları ve toz üretim oranlarının dağılımı incelenmiştir. Bu incelemede kuyrukluyıldızların -uç örnekler dışında- dinamik sınıflarından bağımsız olarak belli bir aralıktaki oranlara sahip olduğu ve bu sonucun bölüm 6.1 ile verilen önceki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Son olarak veri tabanında kuyrukluyıldız dinamik sınıflarının Güneş'e olan uzaklıklarına göre ortalama davranışı incelenmiştir. Bu eğilimlerin genellenebilir olması için seçilen gözlemlerin bu amaca yönelik yapılarak bu eğilimin doğrulanması gerektiği önerilmiştir.

Tez içerisinde kuramsal olarak değinilen ebeveyn molekül kısmı çalışmadaki verilerin yetersizliği nedeni ile incelenememiştir. Bu parametre göz önüne alınarak yapılacak çalışmalar ile ileride kimyasal bir sınıflandırma yapılabileceği düşünülmektedir.

Çalışmamız, ileride kuyrukluyıldız aktivitesi ve sınıflandırması konusunda çalışacak araştırmacılar için ilk başvuru kaynağı olma niteliği taşımaktadır. Çalışma içerisinde bulunan bilgiler, kuyrukluyıldız sınıflandırması ve aktivitesine ilişkin temel fikir sahibi olmaya ve bakılabilecek kaynaklar hakkında ön bilgi edinmeye imkan verecek niteliktedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

A'hearn, M.F., Schleicher, D.G., Millis, R.L., Feldman, P.D. and Thompson, D.T., 1984, Comet Bowell 1980b, Astronomical Journal, 89(579-591): 580-581p.

A'Hearn, M.F., Schleicher, D.G., Millis, R.L., Osip, D.J. and Birch, P.V., 1995, The ensemble properties of comets: results from narrowband photometry of 85 comets, 1976-1992, Icarus, 118(223-270): 236-255p.

Alfven, H., 1957, On the theory of comet tails, Tellus, 92(92-96): 95p.

Belton, M.J.S., 2010, Cometary activity, active areas, and a mechanism for collimated outflows on 1P, 9P, 19P, and 81P, Icarus, 210(881-897): 881p.

Capria, M.T., 2002, Sublimation mechanisms of comet nuclei, Earth, Moon, and Planets, 89(161-178): 168p.

Carusi, A., Kresak, L. and Valsecchi, G.B., 1995, Conservation of the Tisserand Parameter at close encounters of interplanetary objects with Jupiter, Earth, Moon, and Planets, 68(71-94): 72p.

Coakley, J.A., 2003, Reflectance and albedo, surface, http://www.curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter9/Ency_Atmos/Reflectance_Albedo_Surface.pdf (Erişim tarihi: 07.01.2018)

Cochran, A.L., Barker, E.S., Ramseyer, T.F. and Storrs, A.D., 1992, The McDonald Observatory faint comet survey - gas production in 17 comets, Icarus, 98(151-162): 156-158p.

Davis, A.M., Holland, H.D. and Turekian, K.K., 2005, Meteorites, Comets and Planets: Treatise on Geochemistry, Volume 1, Elsevier B. V, Amsterdam, 19, 673p.

Elkins-Tanton, L.T., 2006, Asteroids, Meteorites, and Comets, Chelsea House, New York, 132p.

ESA, History of Cometary Missions, https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/History_of_cometary_missions (Erişim tarihi: 13.07.2018)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Feldman,P.D., Festou, M.C,; Tozzi, P. and Weaver, H.A., 1997, The CO_2/CO Abundance Ratio in 1P/Halley and Several Other Comets Observed by IUE and HST, The Astrophysical Journal, 475(829-834): 833-834p.

Fernandez, J.A., 2005, Comets: Nature, Dynamics, Origin, and their Cosmogonical Relevance, Springer, Dordrecht, 27, 70p.

Ferrin, I., Zuluaga, J. and Cuartas, P., 2013, The location of Asteroidal Belt Comets (ABCs), in a comets' evolutionary diagram: The Lazarus Comet, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 434(1821-1837): 13p.

Fink, U., 2009, A taxonomic survey of comet composition 1985–2004 using CCD spectroscopy, Icarus, 201(311-314): 315-331p.

Fink, U. and Hicks, M.D., 1996, A survey of 39 comets using CCD spectroscopy, The Astrophysical Journal, 459(729-743): 731-734p.

Fink, U. and Rubin, M., 2012, The calculation of Afq and mass loss rate for comets, Icarus, 221(721-734): 724-728p.

Heidarzadeh, T., 2008, A History of Physical Theories of Comets, From Aristotle to Whipple, Springer, Riverside, 6-8p.

Huebner, W.F., 1990, Physics and Chemistry of Comets, Springer-Verlag, Berlin, 143p.

Huebner, W.F., Benkhoff, J., Capria, M.T., Coradini, A., De Sanctis, C., Orosei, R. and Prialnik, D., 2006, Heat and Gas Diffusion in Comet Nuclei, International Space Science Institute, Netherlands, 80, 193p.

Kızılırmak, A., 1969, Gökbilim Terimleri Sözlüğü, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 4, 67s.

Lamy, P.L., Toth, I., Fernandez, Y.R. and Weaver, H.A., 2005, The sizes, shapes, albedos, and colors of cometary nuclei, https://physics.ucf.edu/~yfernandez/papers/comets2chapter/comets2reprint.pdf (Erişim tarihi: 23.12.2017)

Langland-Shula, L.E. and Smith, G.H., 2011, Comet classification with new methods for gas and dust spectroscopy, Icarus, 213(280-322): 280-322p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Levison, H. F., 1996, Comet taxonomy, Completing the Inventory of the Solar System, 107(173-191): 173-191p.

Meech, K.J., Pittichova, J., Bar-Nunb, A., Notescob, G., Lauferb, D., Hainautc, O.R., Lowry, S.C., Yeomanse, D.K. and Pitts, M., 2009, Activity of comets at large heliocentric distances pre-perihelion, Icarus, 201(719-739): 735p.

Meech, K.J., Svoren, J., 2004, Comets II: Using Cometary Activity to Trace the Physical and Chemical Evolution of Cometary Nuclei, University of Arizona Press, United States of America, 317-335p.

Meierhenrich, U., 2015, Comets and Their Origin, Wiley-VCH, Weinheim, 11-12p.

Mitton, J., 2007, Cambridge Illustrated Dictionary of Astronomy, Cambridge University Press, Cambridge, 192p.

Moltenbrey, M., 2016, Dawn of Small Worlds: Dwarf Planets, Asteroids, Comets, Springer International Publishing, Switzerland, 106p.

Muinonen, K., 1996, Light scattering by Gaussian random particles, Earth, Moon, Planets 72: 339-342p.

Mukai T., Blum J., Nakamura A.M., Johnson R.E., and Havnes O., 2001, Physical processes on interplanetary dust, Springer, Heidelberg, 473p.

Mumma, M.J., Charnley, S.B., 2011, The Chemical Composition of Comets, The Annual Review of Astronomy and Astrophysics 49(471-524): 481p.

NASA, JPL Small-Body Database, https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi (Erişim tarihi: 17.09.2018)

Newburn, R. L. and Spinrad, H., 1984, Spectrophotometry of 17 comets. I - the emission features, Astronomical Journal, 89(289-309): 303p.

Newton, I., 1848, Newton's Principia, Daniel Adee, New York, 459, 460-464, 471-503p.

Prialnik D., 1999, Modelling gas and dust release from comet Hale–Bopp, Earth, Moon, and Planets, 77(223-230): 226p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Prialnik D., 2002, Modeling and comet nucleus interior. Application to comet C/1995 01 Hale-Bopp, Earth, Moon, and Planets, 89(27-52): 28p.

Rivkin, A.S., 2009, Asteroids, Comets and Dwarf Planets, Greenwood Press, Oxford, 137p.

Rodionov, A.V., Crifo, J.-F., Szego, K., Lagerros, J. and Fulle, M., 2002, An advanced physical model of cometary activity, Planetary and Space Science, 50(983-1024): 986, 989p.

Schlemmer, S., Mutschke, H., Giesen, T. And Jager, C., 2014, Laboratory Astrochemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 229, 242p.

Spohn, T., Breuer, D. and Johnson, T.V., 2014, Encyclopedia of the Solar System, Elsevier, Amsterdam, 609p.

Swamy, K.S.K., 2010, Physics of Comets, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Toh Tuck Link, 34, 49, 214, 354p.

Whipple, F.L., 1950, A comet model. I. the acceleration of Comet Encke, Astrophysical Journal, 111(375-394): 375-394p.

Whipple, F.L., 1951, A comet model. II. physical relations for comets and meteors, Astrophysical Journal, 113(464-474): 464-474p.

Whipple, F.L., Huebner, W.F., 1976, Physical Processes in Comets, Annual Reviews Inc., 14(143-172): 144p.

Woan, G., 2003, The Cambridge Handbook of Physics Formulas, Cambridge University Press, Cambridge, 121p.

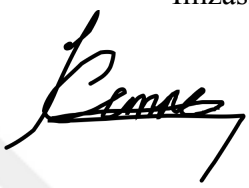
Woolfson, M.M., 2000, The Origin and Evolution of Solar System, IOP Publishing, United Kingdom, 45p.

TEŞEKKÜR

Kuyrukluyıldızlar konusunda çalışmama imkan sağlayan, tez çalışmasının araştırma, düzenleme ve yorumlama kısımlarında çok değerli katkılarını ortaya koyan tez danışmanım Prof. Dr. Melike AFŞAR'a ve öğrenim hayatım boyunca gerek maddi gerek manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

30/06/2019

İmzası



Cemre KULOĞLU

ÖZGEÇMİŞ

Cemre KULOĞLU, Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olup, 1991, İstanbul doğumludur. İlköğretimini Doğa İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Orhan Cemal Fersoy Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2009-2010 yıllarında Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimlerine kayıt olmuştur. 2016 yılında buradan mezun olmuş ve aynı sene aynı bölümde Astrofizik Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen bu bölümde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

EKLER

EK 1: Çalışmada Kullanılan Veriler

EK 2: Çalışmada Kullanılan Değişim Verileri