



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YILDIZ ATMOSFERLERİNDE
MİKROTÜRBÜLANSIN DERİNLİK BAĞLILIĞI**

Betül CİVELEKLER
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman
Yrd. Doç. Dr. M. Taşkın ÇAY

Aralık, 2009

İSTANBUL

Bu çalışma 04/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Yrd. Doç. Dr. M. Taşkın ÇAY (Danışman)
İstanbul Üniversitesi



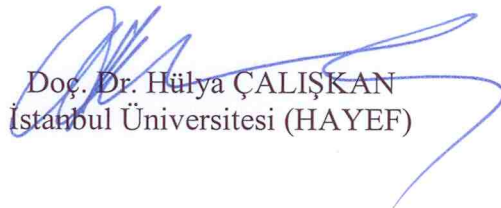
Prof. Dr. H. Hüseyin MENTEŞE
İstanbul Üniversitesi



Prof. Dr. H. Gökmen TEKTUNALI
İstanbul Üniversitesi



Prof. Dr. M. Türker ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi



Doç. Dr. Hülya ÇALIŞKAN
İstanbul Üniversitesi (HAYEF)

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterlięi'nin 2596 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın konusunu önererek tüm lisansüstü eğitimim boyunca gerek maddi gerekse manevi her türlü bilgi, kaynak ve desteği benimle cömertçe paylaşan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Sayın M. Taşkın ÇAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın yapılabilmesi için gereken yıldız spektrumlarını sağlayan, ABD Güney Carolina, The Citadel Fizik Bölümü'nden Prof. Dr. Sayın Saul J. ADELMAN'a ve Dominion Astrofizik Gözlemevi'ne,

Çalışma boyunca gerek maddi gerekse manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen, tez çıktılarını büyük bir titizlikle okuyarak önerilerde bulunan hocam Yrd. Doç. Dr. Sayın İpek H. ÇAY'a,

Her zaman olduğu gibi bu çalışma boyunca da bana destek olan aileme ve canım kardeşim Elif CİVELEKLER'e teşekkür ederim.

Aralık, 2009

Betül CİVELEKLER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	III
TABLO LİSTESİ	IV
SEMBOL LİSTESİ	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1. TÜRBÜLANS HAREKETLERİN ÇİZGİ PROFİLLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ.....	4
2.2. MİKROTÜRBÜLANSI TAYİN ETMEDE BÜYÜME EĞRİSİ YÖNTEMİ VE FOURIER ANALİZİ.....	6
2.2.1. Fourier Analizi Yönteminin Avantajları	7
2.2.2. Fourier Dönüşümü ve Konvolüsyon.....	8
2.2.3. Akı İfadesinde Konvolüsyon Olarak Makrotürbülans, Rotasyon ve Mikrotürbülans.....	9
2.3. MİKROTÜRBÜLANS, MAKROTÜRBÜLANS VE ROTASYONUN FOURIER DÖNÜŞÜMLERİNDEKİ KARAKTERİSTİK DAVRANIŞLARI.....	11
3. MALZEME VE YÖNTEM	14
3.1 FOURIER ANALİZİ YÖNTEMİ İLE MİKROTÜRBÜLANSIN TAYİNİ.....	14
3.2 VERİ.....	15
3.3 YÖNTEMİN ÇALIŞMA YILDIZLARINA UYGULANMASI.....	16
3.4 ÇİZGİ OLUŞUM DERİNLİKLERİNİN HESAPLANMASI.....	28
4. BULGULAR	29
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	33
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	38

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Artan mikrotürbülans hızının ($\xi = 0, 2$ ve 8 km/sn) çizgi profiline etkisi.....	5
Şekil 2.2	: a) Bir çizgi profili ve b) Bu çizgi profilinin Fourier dönüşümü.....	11
Şekil 2.3	: Artan mikrotürbülans hızının ($\xi=0,2$ ve 8 km/sn) Fourier domainindeki davranışı.....	12
Şekil 2.4	: Eşyönlü Gaussian makrotürbülansın ve rotasyonun baskın olduğu çizgi profilleri için Fourier dönüşümleri.....	13
Şekil 3.1	: Sentetik termal profil (—) ve gözlemsel profilin (•) karşılaştırılması....	15
Şekil 3.2	: 41 Cyg yıldızı için yapılan çizgi düzeltmesine bir örnek.....	17
Şekil 3.3	: $\lambda\lambda 4240\text{-}4270\text{\AA}$ dalgaboyu aralığında α Per ve γ Ser yıldızlarının spektrumları.....	18
Şekil 3.4	: α Per yıldızı (a) ve γ Ser yıldızı (b) için yapılan çizgi düzeltmesine birer örnek.....	18
Şekil 3.5(a-k)	: Analizler için seçilen çizgi profilleri ve Fourier dönüşümleri.....	19-24
Şekil 3.6	: SYNTHES girdi dosyasında sayısal aletsel profil.....	26
Şekil 3.7	: Gözlemsel profilin Fourier dönüşümünden aletsel profilin etkisinin çıkartılması.....	27
Şekil 3.8	: WIDTH9 çıktısının ortalama çizgi oluşum derinliğine ait kısmı.....	28
Şekil 4.1(a-e)	: 41 Cyg yıldızına ait çizgiler için mikrotürbülans hızlarının tayini..	29-30
Şekil 4.2	: α Per yıldızına ait çizgilerin Fourier dönüşümlerinin karşılaştırılması..	31
Şekil 4.3(a-c)	: γ Ser yıldızına ait çizgiler için yapılan karşılaştırmalar.....	32
Şekil 5.1	: 41 Cyg ve α Per yıldızlarının spektrumlarının karşılaştırılması.....	34
Şekil 5.2	: 41 Cyg yıldızının atmosferinde mikrotürbülansın derinlik bağılılığı....	35

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	: Çalışmada kullanılan yıldızlar.....	16
Tablo 3.2	: Yıldız spektrumlarına ait dalgaboyu aralıkları.....	16
Tablo 4.1	: 41 Cyg yıldızı için analizi yapılan çizgilere ait mikrotürbülans hızları ve ortalama çizgi oluşum derinlikleri.....	31
Tablo 5.1	: Analizde kullanılan çizgiler ve eşdeğer genişlikleri	33
Tablo 5.2	: Yıldızların rotasyon hızları.....	34

SEMBOL LİSTESİ

$\text{\AA}$	: angström
F_v	: v frekansındaki akı
I_v	: v frekansındaki şiddet
k	: Boltzmann sabiti
$*$	: konvolüsyon
λ	: dalgaboyu
$[M/H]$	: metalisite
R	: spektrografın çözümleme gücü
σ	: Fourier frekansı
T	: sıcaklık
τ	: optik derinlik
ξ	: mikrotürbülans hız

ÖZET

YILDIZ ATMOSFERLERİNDE MİKROTÜRBÜLANSIN DERİNLİK BAĞLILIĞI

Mikrotürbülans, yıldız atmosferlerinde karakteristik büyüklüğü fotonun ortalama serbest yolundan daha küçük olan türbülant yapıların hareketidir.

Bolluk analizi çalışmalarında mikrotürbülansın yıldız atmosferi boyunca sabit olduğu kabul edilir. Bununla birlikte literatürde mikrotürbülansın atmosfer boyunca derinlikle değiştiğini gösteren çalışmalar da vardır.

Bu çalışmada mikrotürbülansın derinliğe bağılılığı F spektral tipinden üç yıldız (41 Cyg (F5Ib), α Per (F5Ib), γ Ser (F6V)) üzerinde araştırılmıştır. Yıldızların spektrumlarından seçilen uygun çizgiler için Fourier analizi yöntemi ile mikrotürbülans hızları tayin edilmeye çalışılarak, bu hızların ortalama çizgi oluşum derinliği ile olan ilişkisine bakılmıştır.

Yapılan analizlerin sonucunda, α Per ve γ Ser yıldızlarının çizgileri için mikrotürbülans hızı tayin edilememiştir. 41 Cyg yıldızı için mikrotürbülansın, atmosfer boyunca derinlikle arttığı şeklinde yorumlanabilecek sonuçlar elde edilmiştir.

SUMMARY

DEPTH DEPENDENCE OF MICROTURBULENCE IN STELLAR ATMOSPHERES

Microturbulence is the small scale motions of the turbulent elements, having the sizes smaller than the mean free path of the photons in a stellar atmosphere.

In the elemental abundance analysis works, microturbulence is assumed to be constant. However, certain works in the literature suggest that the microturbulence changes with the depth in the atmosphere.

In this work, three F-type stars (41 Cyg (F5Ib), α Per (F5Ib), γ Ser (F6V)) have been analyzed to investigate the depth dependence of the microturbulence in stellar atmospheres. For this purpose, microturbulence velocities for the suitable lines of the stars have been estimated using the Fourier Transform Analysis technique, then they are compared to the mean line formation depth of these lines.

As the result of the analysis, while for the lines of α Per and γ Ser, it is not possible to estimate microturbulence velocities, 41 Cyg suggest that in the atmosphere of this star the microturbulence velocity has increasingly higher value with the depth in the atmosphere.

1. GİRİŞ

Mikrotürbülans, karakteristik büyüklüğü fotonun ortalama serbest yolundan daha küçük olan türbülant yapıların hareketidir ve yıldız atmosferlerinin analizlerinde yaygın bir şekilde serbest parametre olarak kullanılır.

Geleneksel bolluk analizlerinde bir yan ürün olarak elde edilen mikrotürbülans hız, bir elementin farklı iyonizasyon hallerinden tek bir element bolluğu elde edebilmek için termal hız alanına ek bir hız olarak kullanılır. Ortamdaki parçacıklar için v parçacıkların gözlenen ortalama hızı, v_t parçacıkların termal hızı ve ξ mikrotürbülans hızı ise;

$$v^2 = v_t^2 + \xi^2 \quad (1.1)$$

olduğu kabul edilir. Burada,

$$v_t^2 = \frac{2kT}{m}$$

T: Kinetik sıcaklık,

k: Boltzmann sabiti,

m: Ortamdaki parçacıkların toplam kütlesi

Mikrotürbülans, termal olmayan çizgi genişleme mekanizmalarından biridir. Ancak bu küçük ölçekli hareketler sadece spektrel çizgiyi genişletmez, çizgi korundan kanatlara doğru fotonların Doppler kayması göstermesi ile çizginin doygunluğunu da azaltır. Bu durum spektrel çizginin eşdeğer genişliğinin artmasının başlıca sebeplerindendir [1].

Geleneksel bolluk analizi çalışmalarında mikrotürbülansın atmosfer boyunca sabit olduğu kabul edilir.

Mikrotürbülansın yıldız atmosferi boyunca derinlikle değişiyor olabileceğine ilk kez dikkat çeken Wright [2, 3] ve Wrigh ve Dien [4]'dir. Mikrotürbülansın derinlik bağıllığı, bir çoğu süperdev olan bir grup yıldız için çizgi oluşum derinliğinin iyonizasyon ve eksitasyona bağıllığı vasıtası ile araştırılmıştır. Parsons [5], α Per (F5Ib) ve β Aqr (G0Ib)'nin atmosferlerinde mikrotürbülans hızının yükseklikle arttığını gösteren sonuçlar buldu. Wolf [6] η Leo (A0Ib)'nun atmosferi boyunca mikrotürbülans için 2-10 km/sn arasında değişen hız değerleri elde ederken, Groth [7] α Cyg (A2Ia) için yine yükseklikle artacak şekilde 2-20 km/sn'lik bir hız aralığı elde etmiştir.

Rosendhal [8], 10 tane A tipi süperdev (Ia) yıldız için, standart büyüme eğrisi tekniği ile küçük ölçekli hız alanlarının (mikrotürbülans) analizini yaparak FeI çizgilerinin mikrotürbülans hızı değerlerinin FeII ya da TiII değerlerinden küçük olduğunu ve bu farklılığın büyüme eğrisi yaklaşımından kaynaklanan bir hatanın sonucu olmadığını bulmuştur. Bu çalışmada mikrotürbülans hızının, büyüme eğrisi için kabul edilen teorik modellere duyarlı olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak, bu yıldızların atmosferlerinde bir hız gradyentinin varlığı ve bir tabakalaşma etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmaya göre A tipi süperdevlerde mikrotürbülans, önce atmosferde artan yükseklik ile birlikte azalır, minimuma ulaşır sonra tekrar küçük optik derinliklerde artar.

Benzer şekilde Aydın [9], büyüme eğrisi tekniğini kullanarak, 5 tane A tipi süperdev yıldız için mikrotürbülansın eksitasyon potansiyeline ve radyal hızın zamana olan bağıllığını araştırdığı çalışmasında, tüm yıldızlar için mikrotürbülans hızı değerlerinin elementten elemente farklılık gösterdiğini ve her zaman FeII çizgilerinin mikrotürbülans hızı değerlerinin TiII çizgilerinin değerlerinden, TiII çizgilerinin mikrotürbülans hızı değerlerinin FeI çizgilerinin değerlerinden büyük olduğunu bulmuştur.

Hem büyüme eğrisi yöntemini hem de Fourier analizi tekniğini kullanarak Arcturus (K2III)'un atmosferinde mikrotürbülans için spektroskopik çalışma yapan Takeda [10], büyüme eğrisi yöntemi ile mikrotürbülans hızı değerinin eksitasyon potansiyeli ve iyonizasyon derecesine göre ayrılan çizgi gruplarına önemli ölçüde bağlı olduğunu bulmuştur. Eksitasyon potansiyeli ya da iyonizasyon derecesi arttıkça, mikrotürbülans hızı küçük değerler almaya başlar. Bu eğilim, mikrotürbülansın derinliğe bağıllığı olarak yorumlanabilir. Takeda, Arcturus'un atmosferinde $1 \geq \tau \geq 10^{-2}$ optik derinlik

bölgesinde mikrotürbülans hızının yükseklikle birlikte ~ 0.5 km/sn den ~ 2.2 km/sn'ye arttığını göstermiş, Fourier dönüşümü tekniğini uyguladığı uygun spektral çizgiler için ise mikrotürbülans hızı değerlerini büyüme eğrisi yöntemiyle uyumlu olarak $1.2 \text{ km/sn} \leq \xi \leq 1.6 \text{ km/sn}$ arasında olduğunu bulmuştur.

Mikrotürbülansın yıldız atmosferlerinin elemental bolluk analizlerinde belirleyici bir parametre olması sebebiyle doğru tayin edilmesi önem taşır.

Bu çalışmada mikrotürbülansın, yıldız atmosferi boyunca derinlikle değişip değişmediğini araştırmak hedeflenmiştir. Bu amaçla F spektral tipinden üç yıldızın atmosferlerinin farklı ortalama çizgi oluşum derinlikleri için farklı mikrotürbülans hızlarına sahip olup olmadığı incelenmiştir. Bu inceleme, çizgi profillerinin şekillerinden itibaren mikrotürbülans hızını tayin edebilmeyi mümkün kılan Fourier analizi yöntemi ile yapılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 TÜRBÜLANS HAREKETLERİN ÇİZGİ PROFİLLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

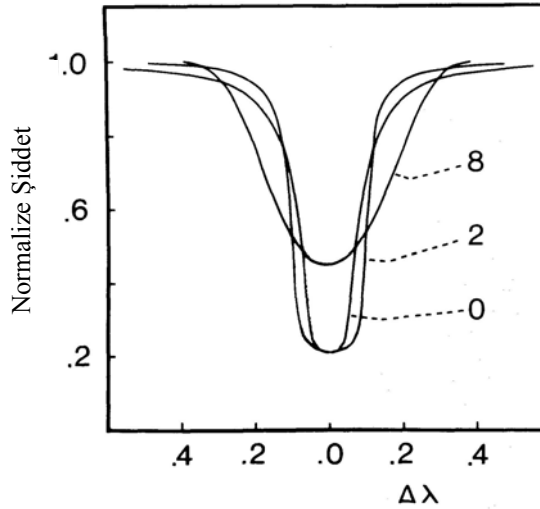
Bir spektrel çizgiye etki eden genişleme mekanizmaları, atomların termal hareketleri, basınç genişlemesi, mikrotürbülans, makrotürbülans, rotasyon, Zeeman etkisi, Stark etkisi ve van der Waals etkisi olarak sıralanabilir. Spektrel çizgiler Zeeman, Stark ya da van der Waals etkileri ile şiddetli olarak genişlemezler [11]. Çizgi üzerinde baskın olan üç genişleme mekanizması makrotürbülans, mikrotürbülans ve rotasyondur. Makrotürbülans, çizgi üzerinde aletsel profilden kaynaklanan genişleme gibi davranır ve eşdeğer genişliği değiştirmez fakat profilin şeklini, özellikle de yarı genişliğini etkiler. Bu duruma ters olarak, mikrotürbülans profilin şeklini değiştirmez fakat çizginin eşdeğer genişliğini arttırır. Büyük ölçekli türbülant hareketler (makrotürbülans) sebebi ile oluşan çizgi genişlemesinin çizgi üzerine etkileri, rotasyonel genişlemeden kaynaklanan etkilerden ayırdedilemez; her iki mekanizma da çizgileri aynı şekilde genişletir [12].

Çizgi şiddetleri gözönünde bulundurulduğunda baskın olan bu üç genişleme mekanizmasından mikrotürbülansın çizgi profiline olan etkisinin diğer iki mekanizmaya göre farklı olduğu görülür:

Zayıf çizgiler için, çizginin her noktasında optik derinlik küçük olduğundan, türbülansın geometrik büyüklüğü fotonların ortalama serbest yolu ile karşılaştırılabilir büyüklüktedir. Bu durumda mikrotürbülans bu ölçekte kendisi ile aynı hız dağılımına sahip olan makrotürbülanstaki ayırdedilemez. Böylece çizgi üzerine etki eden genişlemenin şekli her iki mekanizma için aynıdır.

Şiddetli çizgiler için durum oldukça farklıdır ve şiddetli çizgilerin çalışılması ile makrotürbülansın ve mikrotürbülansın profil üzerine olan etkileri ayırdedilebilir. Mikrotürbülansın sebep olduğu çizgi genişlemesi, absorpsiyon katsayısının genişlemesinden meydana gelir. Türbülansın dolaylı meydana gelen Doppler kayması absorpsiyonun daha geniş bir dalgaboyu aralığında meydana gelmesine sebep olur. Absorpsiyon katsayısının genişlemesi şiddetli çizgilerde toplam doyumu azaltırken eşdeğer genişliğin artmasına izin verir [13].

Mikrotürbülans, profilin kutusal bir görünüme sahip olmasına neden olur. Doymuş çizgilerde çizgi merkezinin derinliğini neredeyse sabit bırakırken çizgiyi genişletebilen belirgin bir davranış gösterir. Bu sebeple mikrotürbülans doymuş çizgilerde daha iyi çalışılabilir. Doymuş bir çizgide mikrotürbülans hızı değerindeki daha fazla bir artış, çizginin doyunluğunu yitirerek tekrar Gaussian hale dönmesine sebep olur. Şekil 2.1 mikrotürbülans arttıkça çizginin önce kutusal hale ardından Gaussian hale dönmesini göstermektedir.



Şekil 2.1 Artan mikrotürbülans hızının ($\xi=0$; 2 ve 8 km/sn) çizgi profiline etkisi [14].

Çizgi profilinde makrotürbülansın dolaylı olan değişim tamamen hız dağılımına bağlıdır. Makrotürbülans çizgi profiline çizgiyi sığlaştıracak şekilde tek türlü etki eder. Bu davranış rotasyonun çizgi profilleri üzerine olan etkisine benzer. Bu durumda hem zayıf çizgiler hem de şiddetli çizgiler benzer davranış göstererek, aynı şekilde genişler ve sığlaşır [13].

2.2 MİKROTÜRBÜLANSI TAYİN ETMEDE BÜYÜME EĞRİSİ YÖNTEMİ VE FOURIER ANALİZİ YÖNTEMİ

Mikrotürbülansın tayini için kullanılan klasik yöntem büyüme eğrisi yöntemidir. Saf termal genişleme ve teorik model atmosferler göz önüne alındığında, gözlemsel büyüme eğrisinin doyma kolu teorik büyüme eğrisinin doyma kolundan yukarıda çıkarsa, bu durum yıldız atmosferindeki küçük ölçekli hareketler tarafından absorpsiyon katsayısının genişletilmesine bağlanır. Bu küçük ölçekli hareketlerin (mikrotürbülans), homojen ve eşyönlü olup, bakış doğrultusundaki hız bileşenlerinin Gaussian bir dağılıma sahip olduğu varsayılır. Gözlemsel ve teorik kollar arasında görülen farktan mikrotürbülans hızı tayin edilir.

Mikrotürbülansa ek olarak, büyüme eğrisinin doyma kolunun değişimine neden olan başka fiziksel mekanizmalar da vardır. Bunlar;

- Sıcaklık dağılım etkileri
- Sistematik f-değeri hataları
- Manyetik şiddetlenme
- Aşırı ince yapı
- Non-LTE etkiler

olarak sıralanabilir [15].

Büyüme eğrisinden elde edilen mikrotürbülans değerleri yapılacak çalışmalarda önem taşıyacaksa bu mekanizmalar dikkatli bir şekilde hesaba katılmalıdır.

Genellikle mikrotürbülans bolluk analizinin bir yan ürünüdür ve bu tür çalışmalarda hız dağılımının bulunmasına ihtiyaç yoktur [13].

Gözlem aletlerinin gelişmesiyle verideki kalitenin artması, veriyi işleme ve analiz etme tekniklerindeki yenilikleri de beraberinde getirmiştir. Spektroskopik çalışmalarda çizgi profilinin kendisinden çok Fourier dönüşümünün kullanılmasının daha avantajlı olduğu, yıldız atmosferlerindeki türbülansın tayini, yıldızların rotasyon hızlarının tayini,

Zeeman yarılmasının tespiti, küresel kümeler ve galaksilerdeki hız dispersiyon ölçümleri gibi belirli astrofiziksel problemler vardır [16]. Mikrotürbülans gibi çizgi profilinin şeklini belirleyen fiziksel süreçler Fourier dönüşümünü kullanmak için uygun adaylardır, çünkü genel anlamıyla Fourier dönüşümü bir profilin eğrilik spektrumudur. Böylece bir spektrel çizginin Fourier dönüşümünü inceleyerek mikrotürbülansı elde etmek mümkündür. Bununla birlikte büyüme eğrisi yönteminde doyma kolunun değişimine neden olan diğer fiziksel mekanizmaların varlığı bu analiz yönteminde de gözardı edilmemelidir.

2.2.1 Fourier Analizi Yönteminin Avantajları

Çizgi profili analizinde Fourier dönüşümlerinin kullanılması eldeki probleme göre aşağıdaki avantajlardan bir veya birkaçını sağlar:

- a) Teorik ve gözlemsel profiller karşılaştırılırken belirlenmesi genellikle zor olan şekil farklılıkları, Fourier dönüşümünde oldukça büyük genlik farkları olarak görülür. Belirli fiziksel fonksiyonlar dönüşümlerinde, görüldüğünde fonksiyonun orada var olduğunu gösteren, karakteristik şekillere sahiptirler. Bu durumu diğer yönden ele alırsak, veriyi farklı şekillerde ifade edip çalışmak, belirli astrofiziksel genişleme mekanizmalarını saptamada diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verir.
- b) Çizgi profillerinin karakteristiği olan bir çok fonksiyon sadece yüksek Fourier frekanslarında birbirinden farklı hale gelir. Bu sebeple bu farklılıklar Fourier dönüşümlerinde diğer analiz yollarından daha doğru ölçülür.
- c) Çoğu zaman dalgaboyu domainindeki ölçümler iki ya da daha fazla fonksiyonun konvolüsyonu olarak ifade edilebilir. Bu konvolüsyonlar, Fourier domainindeki dönüşümler arasında adi çarpımlar haline gelir ve bu nedenle gözde canlandırılması ve çalışılması daha kolaydır.
- d) Sinyal/Gürültü oranı Fourier dönüşümünün her bir noktası için görülebilir, bu sebeple dönüşümün her bir kısmına ne kadar güveneceğimizi biliriz [18].
- e) Makrotürbülans ve rotasyon için birçok spektrel çizgi bir araya getirilerek tek bir çözüm bulunabilir [18].
- f) Zeeman genişlemesi için de bir çok spektrel çizgi bir araya getirilerek tek bir çözüm bulunabilir [18].

2.2.2 Fourier Dönüşümü ve Konvolüsyon

Bir fonksiyonun Fourier dönüşümü, o fonksiyonu bir sinüsoidalın faz ve genlikleri şeklinde ifade etmektir. Öyle ki bu faz ve genlikler tekrar birleştirildiğinde fonksiyonu yeniden oluştururlar (ters Fourier dönüşümü).

Bir $F(x)$ fonksiyonu için fonksiyonun Fourier dönüşümü,

$$f(\sigma) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x) e^{2\pi i x \sigma} dx \quad (2.1)$$

şeklindedir. x ve σ değişkenleri “Fourier çifti” olarak adlandırılır. Ters Fourier dönüşümü ise,

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma) e^{-2\pi i x \sigma} d\sigma \quad (2.2)$$

ile ifade edilir. Böylece, $f(\sigma)$ ve $F(x)$ fonksiyonları birbirlerinin dönüşümleridir.

Her fonksiyonun Fourier dönüşümü yoktur.

İki ya da daha fazla fonksiyonun çarpımı olan fonksiyonların Fourier dönüşümü “konvolüsyon” olarak isimlendirilir.

$F(x)G(x)$ gibi iki fonksiyonun çarpımının Fourier dönüşümü olan konvolüsyon şu şekilde tanımlanır:

$$K(\sigma) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma_1) g(\sigma - \sigma_1) d\sigma_1 \quad (2.3)$$

Burada $f(\sigma)$ ve $g(\sigma)$, $F(x)$ ve $G(x)$ fonksiyonlarının dönüşümleridir.

“*” konvolüsyonu göstermek üzere, bu integrali kısaltarak şöyle yazabiliriz:

$$K(\sigma) = f(\sigma) * g(\sigma) \quad (2.4)$$

Konvolüsyonun sırası önemli değildir:

$$f(\sigma) * g(\sigma) = g(\sigma) * f(\sigma) \quad (2.5)$$

2.2.3 Akı İfadesinde Konvolüsyon Olarak Makrotürbülans, Rotasyon ve Mikrotürbülans

Makrotürbülansı akı integrali ifadesinde gösterebilmek için yıldız diskinin birçok küçük alana bölündüğünü varsayalım. Her bir alanda makrotürbülans adını verdiğimiz geniş ölçekli akıntılar olsun. Bu alanlarda makrotürbülans hız dağılımlarını Θ ile gösterirsek, her bir alan için şiddet spektrumu,

$$I_\nu = \Theta * I_\nu^0 \quad (2.6)$$

şeklindedir. Burada I_ν^0 , makrotürbülansın olmadığı durumdaki şiddet spektrumudur. Bu alanların her birinin şiddet spektrumlarının toplamı olan akı şu şekilde verilir;

$$F_\nu = 2\pi \int_0^{\pi/2} I_\nu \sin \theta \cos \theta d\theta$$

ve

$$F_\nu = 2\pi \int_0^{\pi/2} \Theta * I_\nu^0 \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (2.7)$$

Θ 'yı, θ dan bağımsız kabul edersek (eşyönlü durum)

$$F_\nu = 2\pi \Theta * \int_0^{\pi/2} I_\nu^0 \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. Bu, bir modelde, yıldızda makrotürbülansın olmadığı durumdaki akı spektrumu ile makrotürbülans hız dağılımının konvolüsyonu yoluyla eşyönlü makrotürbülansın elde edilebileceğini ifade eder. Eğer Θ 'yı Gaussian olarak kabul edip

sentetik bir çizgi oluşturursak, akı profilinin Gaussian karakteristikler göstermesini bekleriz.

Rotasyon durumu için akı ifadesi benzer şekilde,

$$F_{\nu} = 2\pi g * \int_0^{\pi/2} I_{\nu}^0 \sin\theta \cos\theta d\theta \quad (2.9)$$

dır. Burada g rotasyon profilidir ve I_{ν}^0 , rotasyonun olmadığı durumdaki şiddet spektrumudur.

Mikrotürbülans, çizginin termal absorpsiyon katsayısı ile kabul edilen Gaussian mikrotürbülans hız dağılımı arasındaki konvolüsyon olarak tarif edilebilir. Bu konvolüsyon atmosferde farklı derinliklerde farklı şekilde olacağından mikrotürbülans hız dağılımını akı integrali ifadesinden çarpan olarak ayırmanın yolu yoktur. Bu durumda akı integrali,

$$F_{\nu} = 2\pi \int_0^{\pi/2} I_{\nu} \sin\theta \cos\theta d\theta \quad (2.10)$$

şeklinde ve mikrotürbülans I_{ν} ifadesi ile birleşmiştir.

Görülebileceği gibi gözönüne alınan üç mekanizmanın her biri bir konvolüsyondur. Makrotürbülans ve rotasyon için bu konvolüsyon akı denkleminde açıkça görülürken, mikrotürbülans için konvolüsyon absorpsiyon katsayısı ile birleşmiştir.

Yukarıda tartışılan konvolüsyonlar sebebi ile makrotürbülans, mikrotürbülans ve rotasyon üzerinde çalışılırken çizgi profillerinin Fourier dönüşümlerini kullanmak yararlı olacaktır [14].

Öz profil F_{ν}^0 , aletsel profil $I(\lambda)$, makrotürbülans genişleme fonksiyonu $M(\lambda)$ ve rotasyon genişleme fonksiyonu $G(\lambda)$ ile gösterilirse, gözlenen çizgi profili $D(\lambda)$ tüm bu fonksiyonların konvolüsyonu olarak yorumlanabilir:

$$D(\lambda) = G(\lambda) * M(\lambda) * I(\lambda) * F_{\nu}^0 \quad (2.11)$$

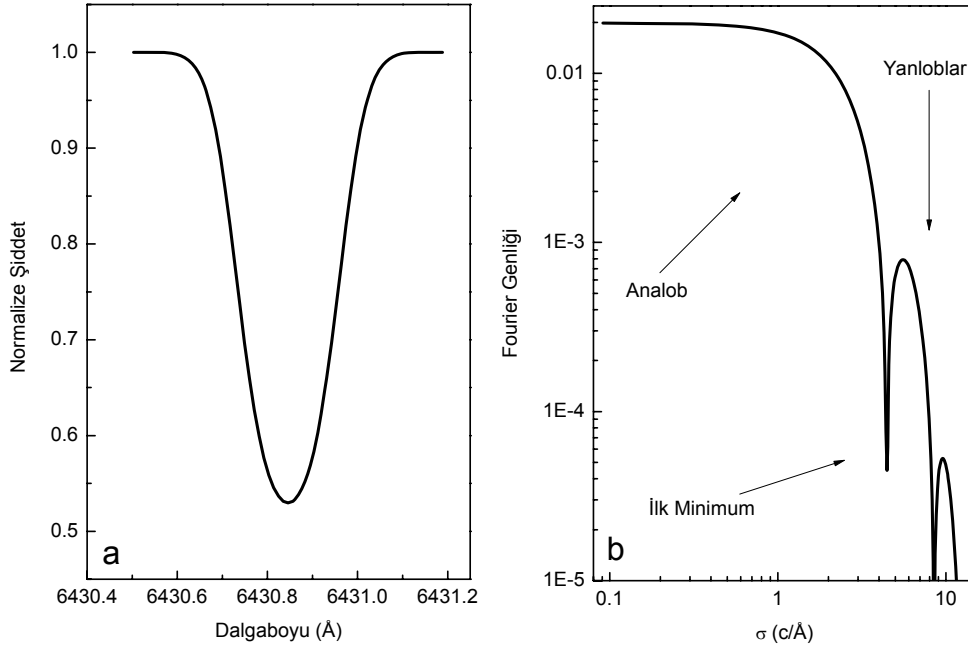
Konvolüsyonlar Fourier dönüşümünde adi çarpımlar haline gelir ve bu durumda gözlemsel profilin Fourier dönüşümü,

$$d(\sigma) = g(\sigma)m(\sigma)i(\sigma)f(\sigma) \quad (2.12)$$

şeklinde yazılır. Burada Fourier frekansı σ 'nın birimi $c/\text{\AA}$ ($\text{\AA}$ başına çevrim) dır [17].

(2.12) denkleminde görülebileceği gibi Fourier domaininde çalışmak, örneğin aletsel profilin etkilerini çizginin profilinden basit bir bölme işlemi ile çıkartabilmeye olanak sağlar.

Şekil 2.2 bir çizgi profili ve bu profilin Fourier dönüşümünü göstermektedir.

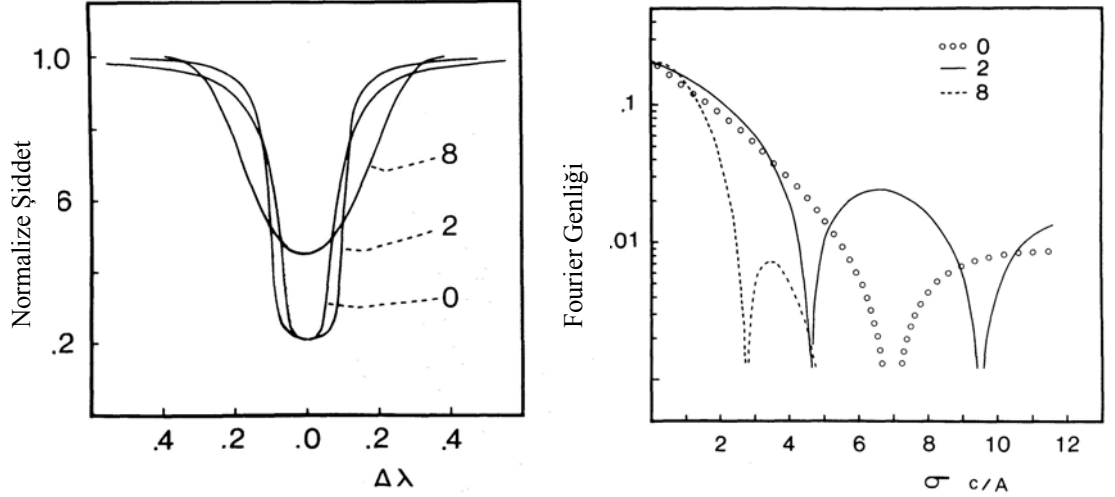


Şekil 2.2 a) Bir çizgi profili ve b) Bu çizgi profilinin Fourier dönüşümü.

2.3 MİKROTÜRBÜLANS, MAKROTÜRBÜLANS VE ROTASYONUN FOURIER DÖNÜŞÜMLERİNDEKİ KARAKTERİSTİK DAVRANIŞLARI

Fourier analizi yöntemi ile mikrotürbülansın tayini yeterince şiddetli çizgiler kullanılarak yapılabilir. Yeterince doymuş çizgilerde rotasyon ya da makrotürbülansın etkilerinden kaynaklanmayıp, sadece mikrotürbülansın ileri gelen karakteristik

özellikleri bulabiliriz. Mikrotürbülans sebebi ile çizgi profilindeki kutusal görünüm, Fourier dönüşümünde kendini yanlobların güçlenmesi şeklinde gösterir. Mikrotürbülans çizginin doygunluğunu azaltacak kadar büyükse, profil Gaussian çizgi profili şekline doğru döner ve bu durum Fourier dönüşümünde yanlobların zayıflamasına karşılık gelir (Şekil 2.3).

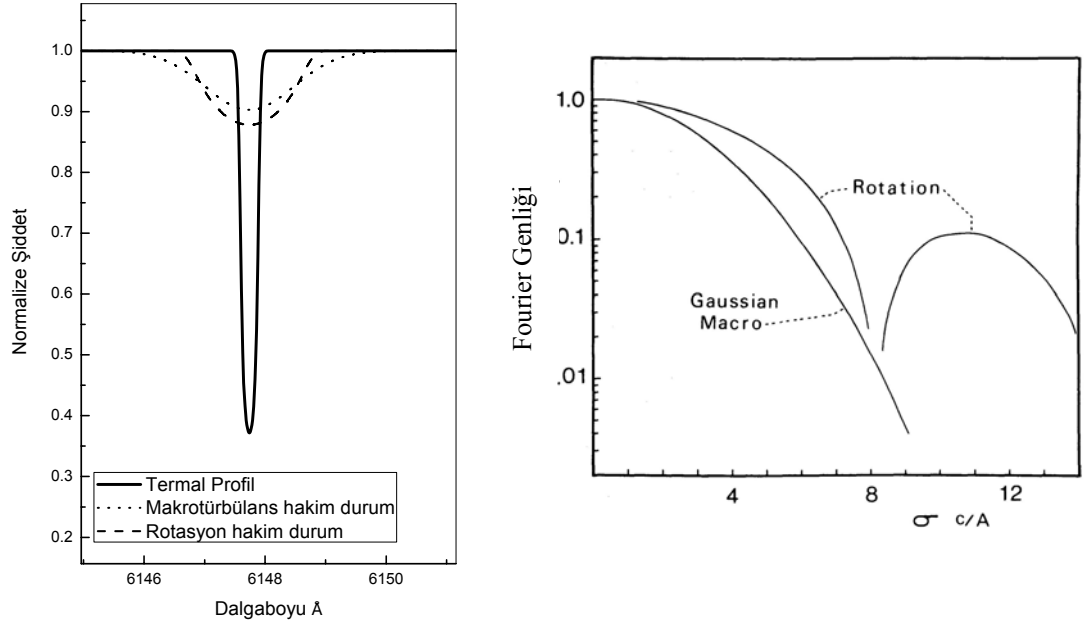


Şekil 2.3 Artan mikrotürbülans hızının ($\xi=0$; 2 ve 8 km/sn) Fourier domainindeki davranışı [14].

Çizgi genişlemesine makrotürbülansın hakim olduğu çizgi profillerinde, profilin şekli Gaussian bir şekle sahip olacağından Fourier dönüşümünde bu durum yanlob yapısının zayıflamasına hatta yok olmasına neden olur (Şekil 2.4).

Genişlemeye rotasyonun hakim olduğu profillerde ise, Fourier dönüşümü yanlob yapısı gösterir (Şekil 2.4). Rotasyon sebebi ile çizginin kanatlarının hızlı bir şekilde sürekliliğe ulaşması durumu Fourier dönüşümlerinde yanlob oluşumuna neden olur.

Mikrotürbülans ve rotasyon profillerinin her ikisinin de yanlob etkisi gösteriyor olması ilk anda karışıklık gibi görülebilir. Bu sorunu çözmek için farklı şiddetteki çizgilerin yanlob davranışlarına bakılır. Rotasyonun profile hakim olduğu durumda spektrumdaki tüm çizgiler için ilk minimumun yeri aynıdır ve tüm çizgiler için aynı yanlob yapısı sergilenir, fakat mikrotürbülans için durum böyle değildir. Fourier dönüşümünde mikrotürbülans sebebi ile görülen ilk yanlobun yeri çizginin doygunluk derecesine bağlıdır.



Şekil 2.4 Eşyönlü Gaussian makrotürbülansın ve rotasyonun baskın olduğu çizgi profilleri için Fourier dönüşümleri [14].

Bu dönüşümlerin dikkat edilmesi gereken iki ana karakteristiği vardır. Birincisi, spektral çizgi ne kadar genişse Fourier dönüşümü o kadar dar bir görünüm sergiler. İkincisi, bu dönüşümlerin analoblarında hafif farklılıklar varken, yanlobları büyük farklılıklar gösterir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

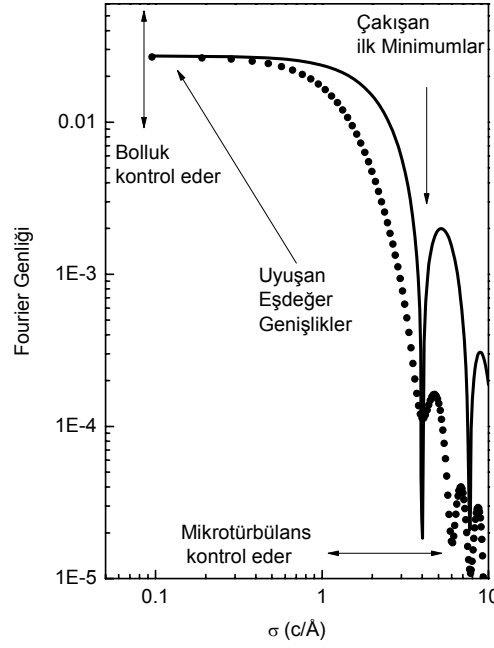
3.1 FOURIER ANALİZİ YÖNTEMİ İLE MİKROTÜRBÜLANSIN TAYİNİ

Fourier analizi yöntemi ile mikrotürbülansın tayini, aletsel profil etkisinden arındırılmış gözlemsel profilin Fourier dönüşümü ($d(\sigma)/i(\sigma)$) ile aletsel profil, rotasyon ve makrotürbülans etkilerini içermeyen sentetik termal profilin dönüşümü ($f(\sigma)$) karşılaştırılarak yapılır.

Karşılaştırma yapılırken aşağıdaki üç şartın sağlanması gerekir:

1. Sentetik termal profilin ($f(\sigma)$) dönüşümünün ilk minimumu, aletsel profil etkisinden arındırılmış gözlemsel profilin ($d(\sigma)/i(\sigma)$) dönüşümünün ilk minimumu ile aynı frekansta (σ) olmalıdır. Bu çakışmayı mikrotürbülans değeri kontrol eder. Bu durum, elde edilen sentetik termal profil ile gözlemsel profilin aynı genişlikte olması anlamına gelir.
2. $f(\sigma)$ ve $d(\sigma)/i(\sigma)$ 'nın $\sigma = 0$ da ordinat eksenleri (Fourier genliği) aynı değere sahip olmalıdır. Bu çakışmayı elementin bolluğu kontrol eder. Bu durum sentetik termal profilin eşdeğer genişliği ile gözlemsel profilin eşdeğer genişliğinin aynı olması anlamına gelir.
3. $f(\sigma)$ 'nın genliği her zaman tüm frekanslarda $d(\sigma)/i(\sigma)$ 'nın genliğinden büyük ya da ona eşit olmalıdır.

Şekil 3.1'de bu üç şartın sağlandığı bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.1 Sentetik termal profil (—) ve gözlemsel profilin (•) karşılaştırılması.

Aslında bu üç durum oldukça kısıtlayıcıdır. Çizgi şiddetini kontrol eden bolluk ve mikrotürbülans çifti için üç şartı aynı anda sağlayan tek bir çözüm vardır.

Karşılaştırma yapılırken, sentetik termal profilin keyfi olarak ayarlanmış bolluk değerlerine karşılık farklı mikrotürbülans hızları denenerek sentetik ve gözlemsel profillerin Fourier dönüşümleri için bahsedilen üç şarta uygun olacak şekilde çakışmalar sağlanır. İlk minimumların çakıştığı mikrotürbülans değeri çizgiye ait mikrotürbülans değeridir.

3.2 VERİ

Yöntemin uygulanması yüksek çözünürlüğe sahip spektrumları gerektirmektedir. Ayrıca çalışılacak spektrumların çizgi tanıları ve eşdeğer genişlik ölçümleri de yapılmış olmalıdır. Çalışılacak yıldızlar Prof. Dr. Saul J. Adelman ve/veya ekip arkadaşları tarafından analizleri yapılmış F tipi üç yıldız arasından, ikisi aynı lüminozite sınıfından diğeri farklı lüminozite sınıfından olacak şekilde seçilmiştir (Tablo 3.1). Böylece mikrotürbülansın derinlikle değiştiğine ilişkin bir bulgu olması durumunda sonuçların tutarlı olup olmadığının kontrol edilebilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 3.1 Çalışmada kullanılan yıldızlar.

Yıldızın Adı	HD Numarası	Spektrel Tip	Etkin Sıcaklık $T_{\text{etkin}} (^{\circ}\text{K})$	log g	Bolluk Analizinin Yapıldığı Çalışma
41 Cyg	195295	F5Ib	6500	2.0	[19]
α Per	20902	F5Ib	6270	1.25	[20]
γ Ser	142860	F6V	6300	4.0	[21]

Üç yıldızın da spektrumları Prof. Dr. Saul J. Adelman tarafından Dominion Astrofizik Gözlemevi (DAO)'nda bulunan 1.22 metrelik Coudé teleskobu ile alınmıştır. Spektrumlar $R \approx 72000$ gibi yüksek bir çözünürlüğe sahip, Sinyal/Gürültü oranı 200-800 arasında olan yüksek kalitede spektrumlardır.

Üç yıldızın spektrumlarının aynı aletle alınmış olması ve bolluk analizlerinin aynı ekip tarafından yapılmış olması çizgi tanıları ve eşdeğer genişlik ölçümleri için homojen bir veri seti sağlamıştır.

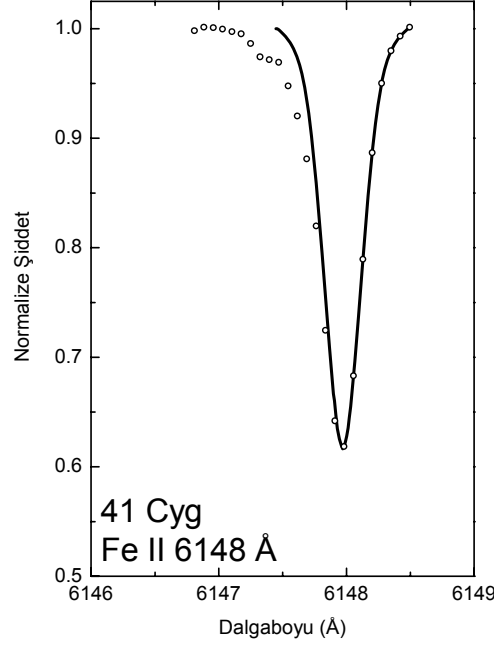
3.3 YÖNTEMİN ÇALIŞMA YILDIZLARINA UYGULANMASI

Yıldızların spektrumları uygun çizgi seçimi için taranarak, blend olmayan veya kanatlardaki blendlikler durumunda en az bir kanadı sürekliliğe ulaşan, mümkün olduğunca şiddetli çizgiler arandı. Bu şartlara uyan 41 Cyg için 17, α Per için 7 ve γ Ser için 13 aday çizgi belirlendi. Tablo 3.2 yıldızlara ait spektrumların dalgaboyu aralıklarını göstermektedir.

Tablo 3.2 Yıldız spektrumlarına ait dalgaboyu aralıkları.

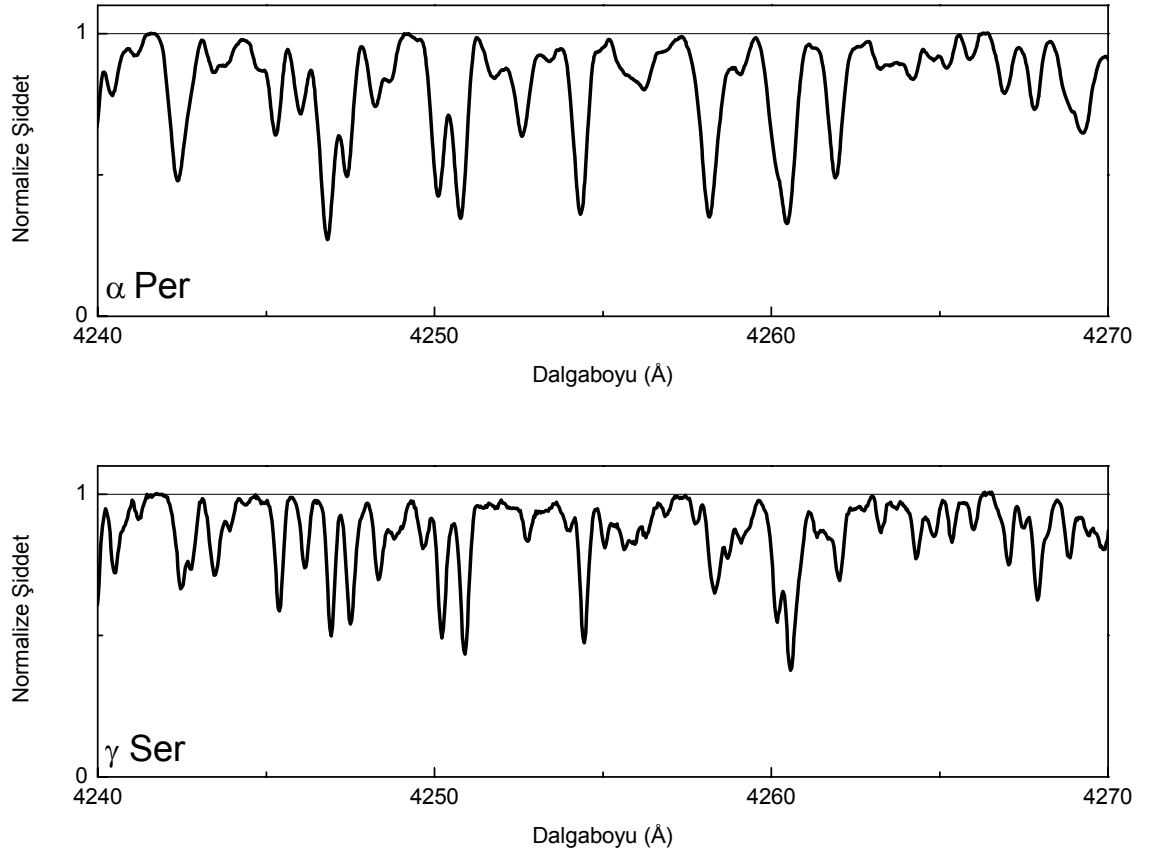
Yıldız Adı	Dalgaboyu Aralığı ($\text{\AA}$)
41 Cyg	3940-8950
α Per	4240-6740
γ Ser	3850-5090

Çizgilerin tek kanatlarında görülen bazı küçük blendlikler, çizgilerin blend olmayan kanatlarından çizgi merkezine kadar olan kısımlarının ters çevrilerek diğer yarısına tamamlanmasıyla yok edildi. Bu şekilde çizgilerde görülen küçük asimetri problemleri de ortadan kalkmıştır. Bu uygulama Şekil 3.2’de 41 Cyg yıldızına ait bir çizgi için gösterilmiştir.

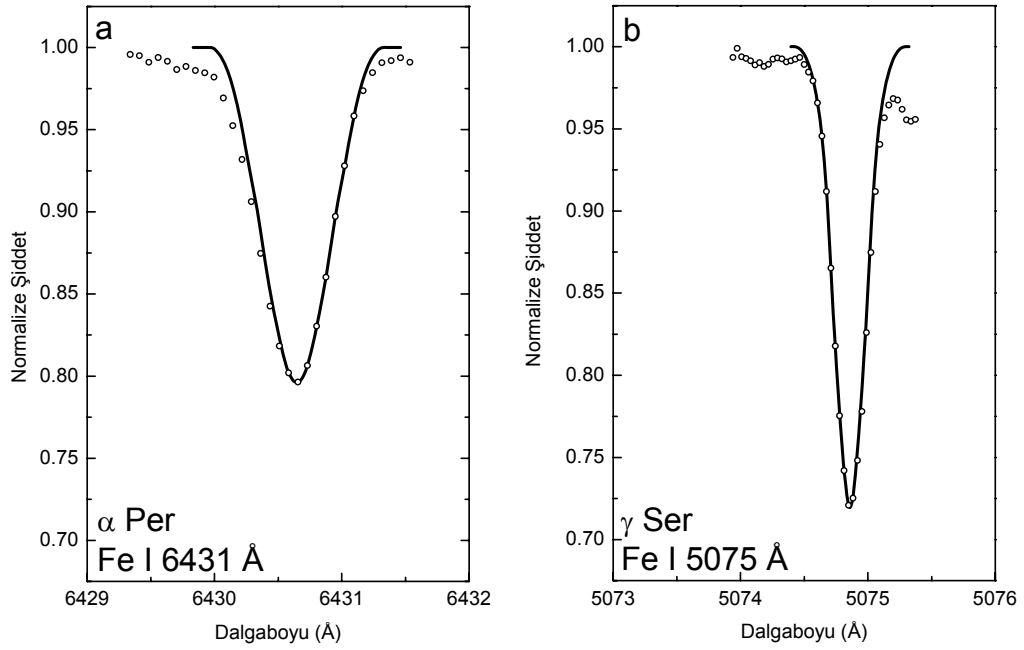


Şekil 3.2 41 Cyg yıldızı için yapılan çizgi düzeltmesine bir örnek. Gözlenen profil içi boş dairelerle (◊), düzeltilmiş profil sürekli çizgiyle (—) gösterilmiştir.

Ayrıca α Per ve γ Ser yıldızları için spektrumdaki çizgilerin büyük çoğunluğu blend olup sürekliliğe ulaşmamaktadır (Şekil 3.3). Bu yıldızlarda, seçilen bazı çizgiler için çizginin kanatlarından birinin sürekliliğe çok yakın olduğu durumlarda çizgi kanadı interpolasyon yoluyla sürekliliğe tamamlanmıştır. Şekil 3.4’te bu yıldızların çizgilerine yapılan düzeltmeler için birer örnek gösterilmiştir.

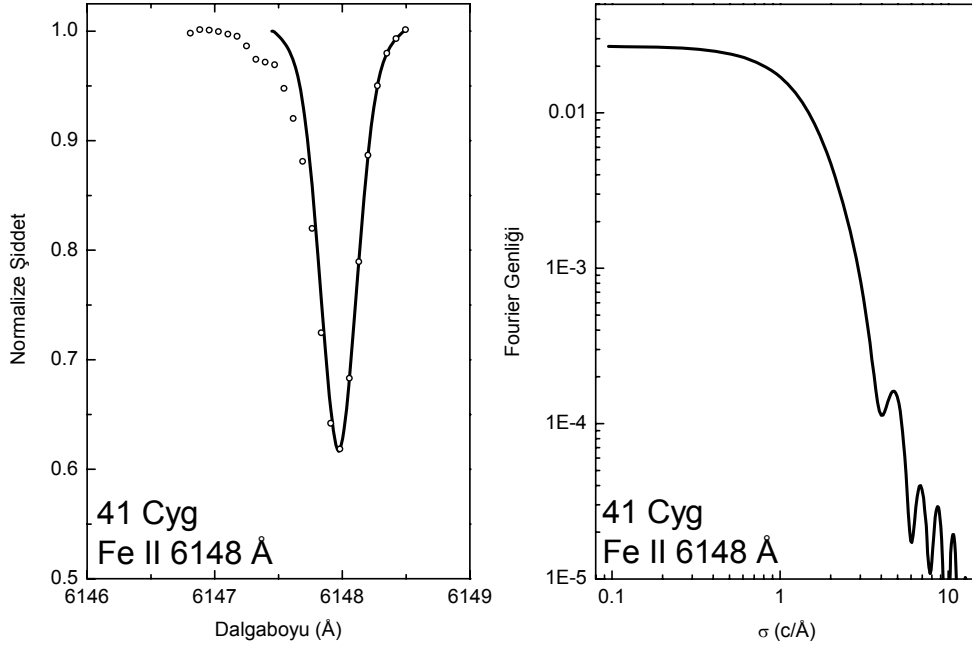


Şekil 3.3 $\lambda\lambda 4240\text{-}4270$ Å dalgaboyu aralığında α Per ve γ Ser yıldızlarının spektrumları.

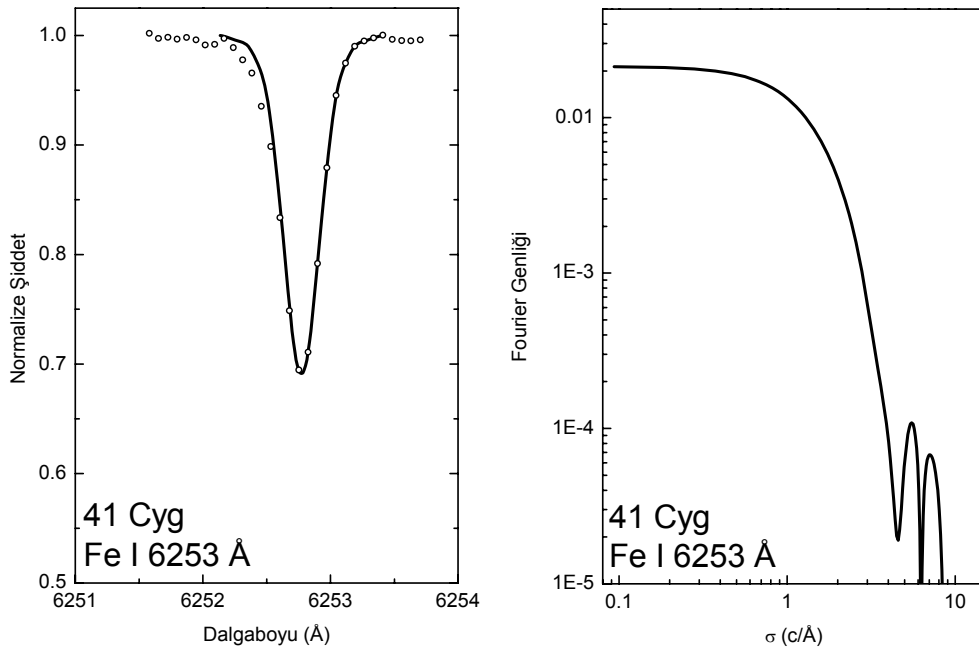


Şekil 3.4 α Per yıldızı (a) ve γ Ser yıldızı (b) için yapılan çizgi düzeltmesine birer örnek. Gözlenen profil içi boş dairelerle ($\circ$), düzeltilmiş profil sürekli çizgiyle (—) gösterilmiştir.

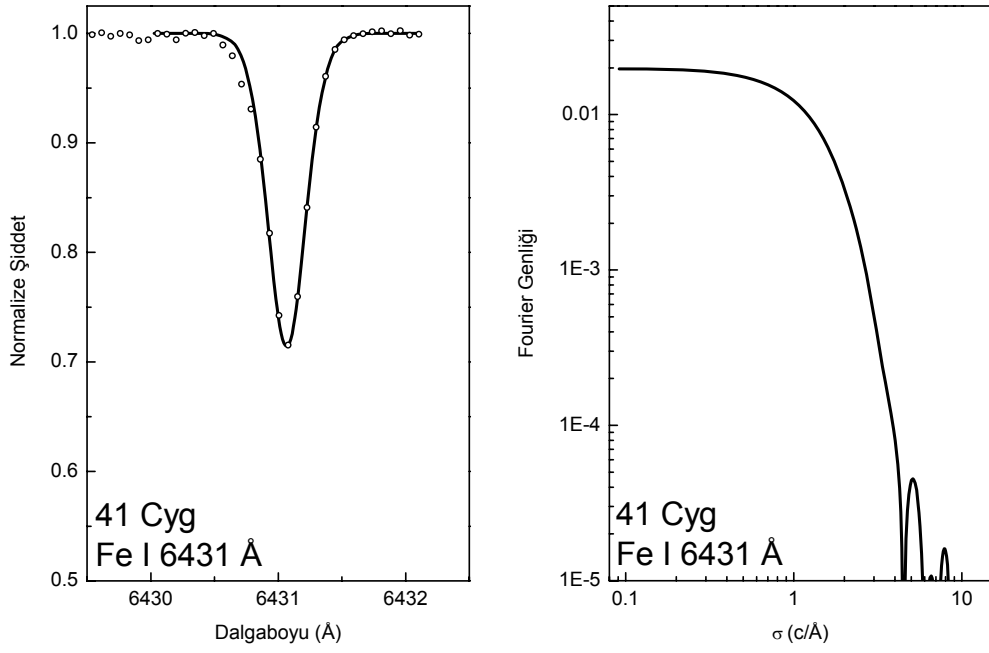
Belirlenen aday çizgilerin Fourier dönüşümleri Fast Fourier Transform algoritması kullanan bir program ile yapıldıktan sonra bu aday çizgiler arasından mikrotürbülans tayinine uygun yanlob yapısı gösteren, 41 Cyg için 5, α Per için 3 ve γ Ser için 3 çizgi belirlendi. Şekil 3.5(a-k) belirlenen çizgileri ve Fourier dönüşümlerini göstermektedir.



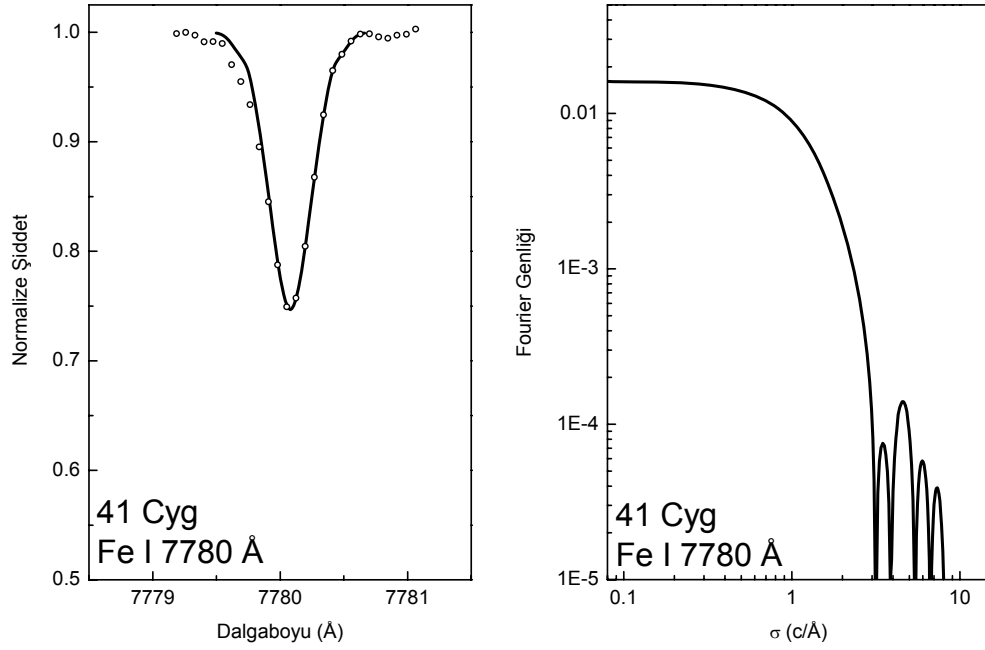
Şekil 3.5a Açıklama için metne bakınız.



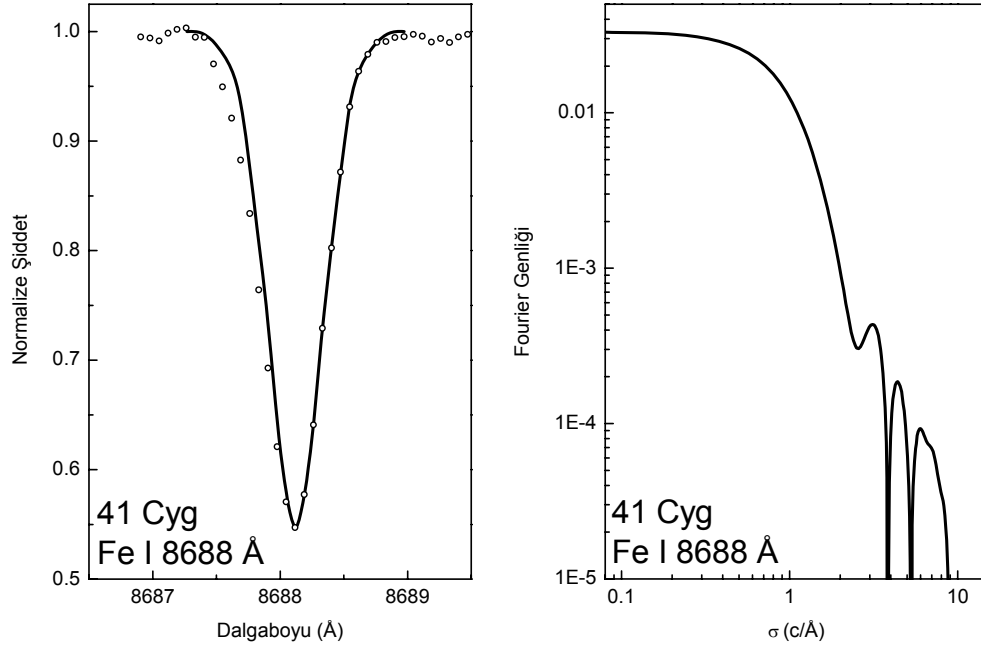
Şekil 3.5b Açıklama için metne bakınız.



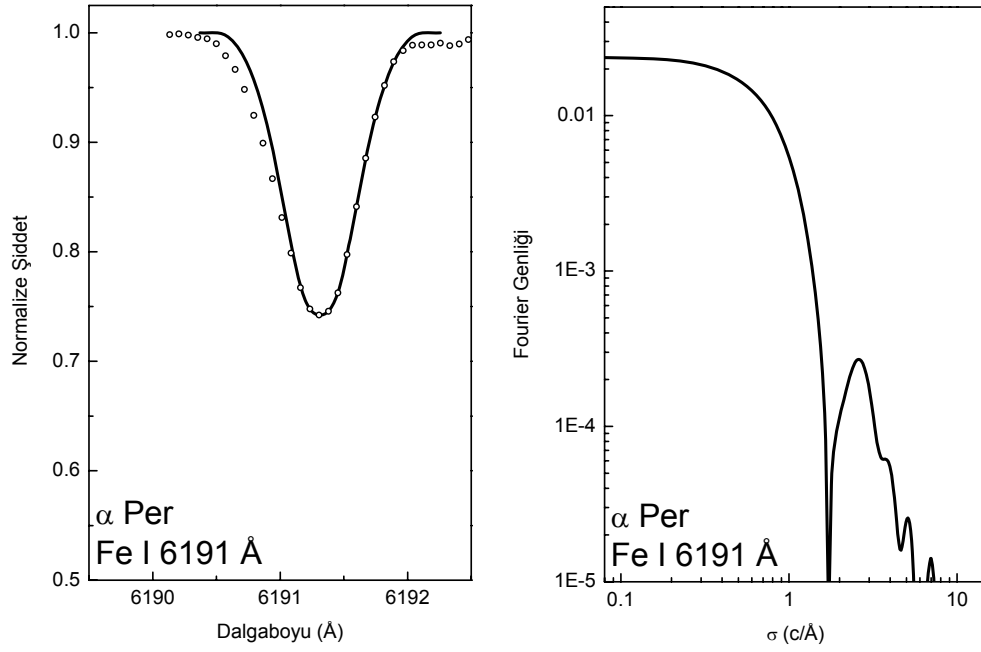
Şekil 3.5c Açıklama için metne bakınız.



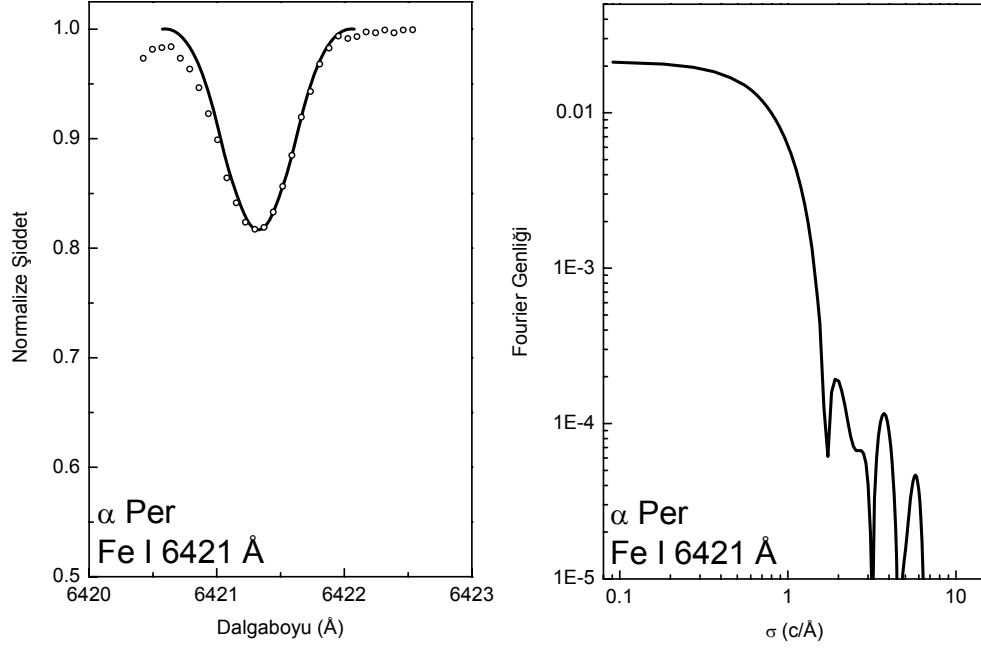
Şekil 3.5d Açıklama için metne bakınız.



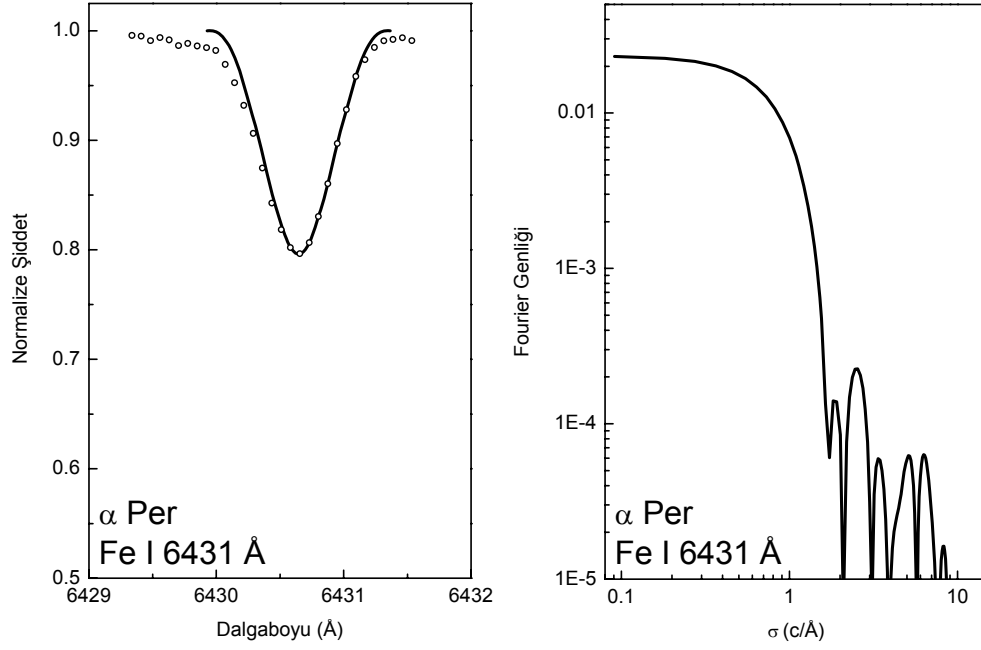
Şekil 3.5e Açıklama için metne bakınız.



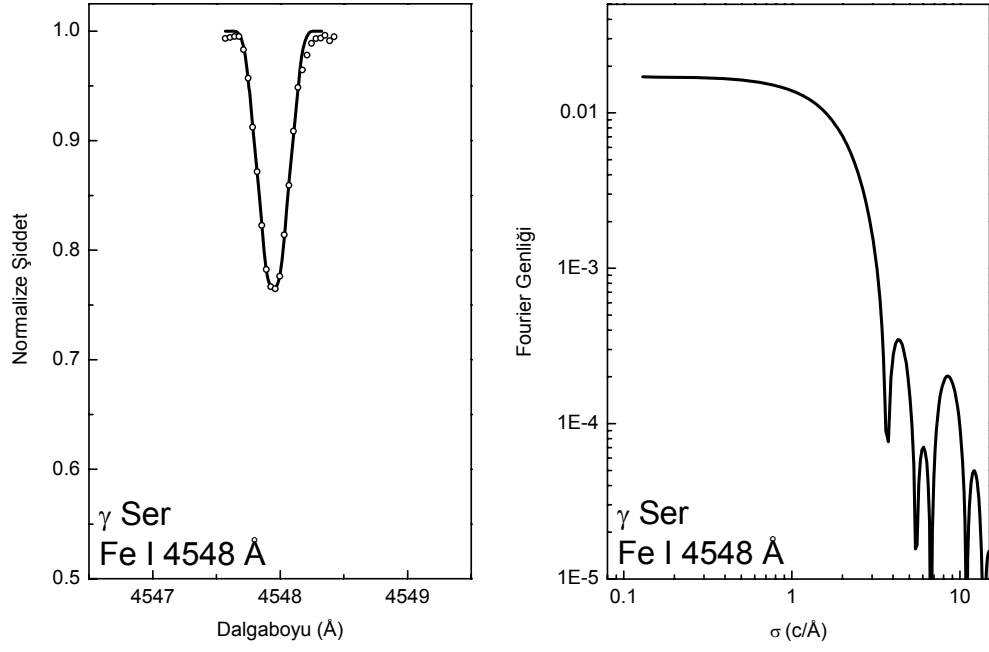
Şekil 3.5f Açıklama için metne bakınız.



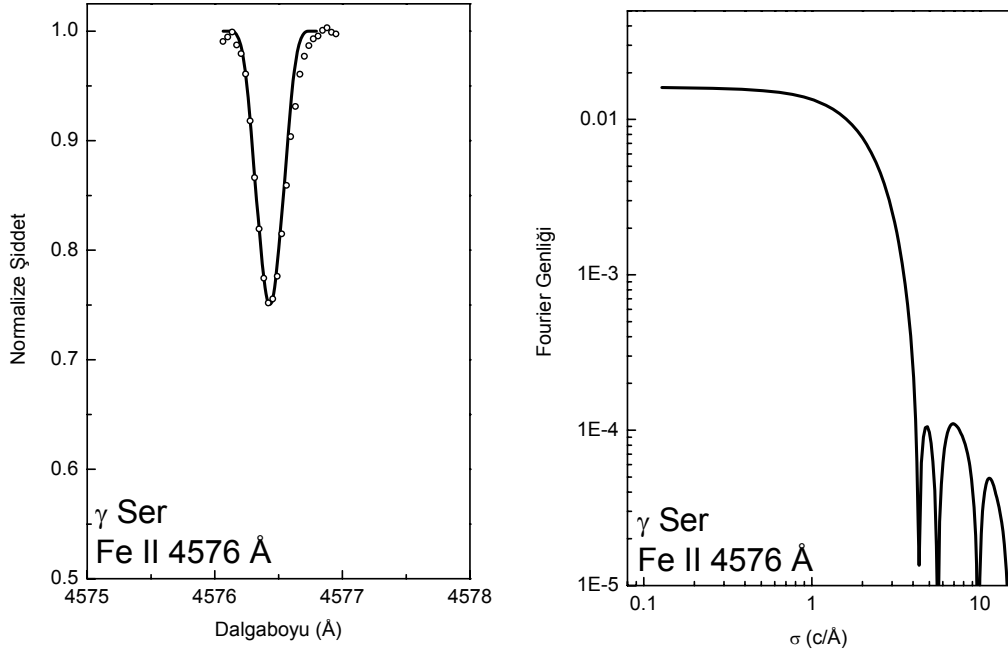
Şekil 3.5g Açıklama için metne bakınız.



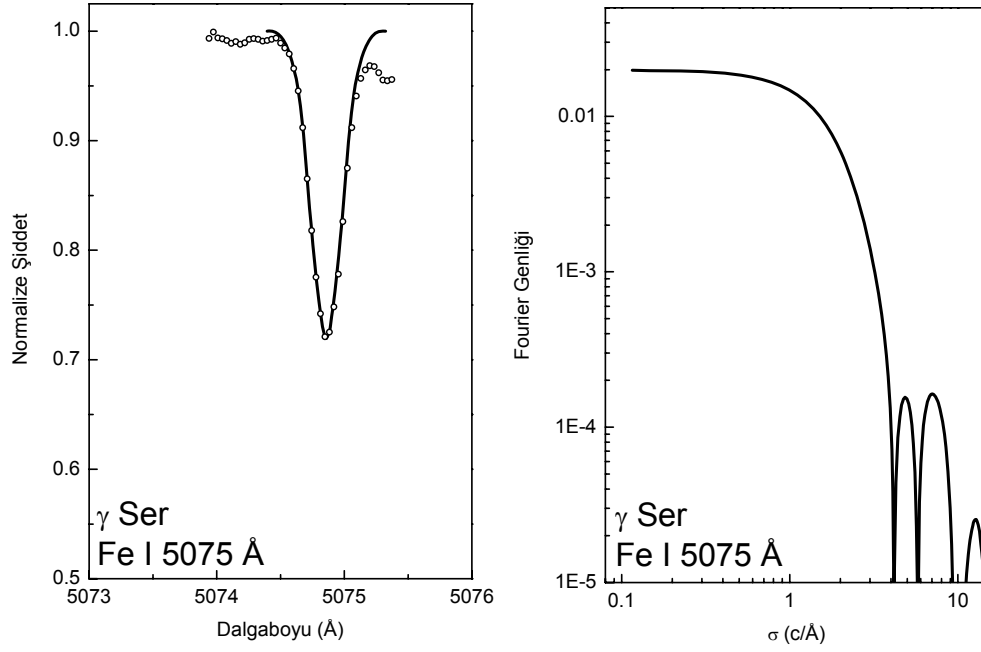
Şekil 3.5h Açıklama için metne bakınız.



Şekil 3.5i Açıklama için metne bakınız.



Şekil 3.5j Açıklama için metne bakınız.



Şekil 3.5k Açıklama için metne bakınız.

Seçilen çizgilerin sentetik profillerini oluşturmak için gerekli olan model atmosferler ATLAS9 [22, 23] model atmosfer programı ile hesaplanmıştır.

ATLAS9 Yerel Termodinamik Denge (LTE) varsayımı altında, radyatif ve konvektif dengede model atmosferler hesaplayan bir program olup hesaplamalar sırasında aşağıdaki varsayımları kullanır:

- Atmosfer kararlıdır,
- Atmosfer homojendir,
- Atmosferde enerji akısı derinlikle değişmez,
- Atmosfer yıldızın çapına göre incedir, bu sebeple düzlem paralel tabakalar halinde gözönüne alınabilir,
- Normal doğrultuda tabakaların birbirine göre hareketi yoktur,
- Atomik bolluklar atmosfer boyunca belirli ve sabittir.

Her bir yıldız için Tablo 3.1'deki etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi değerleri kullanılarak mikrotürbülans hızı $\xi = 0$ km/sn olan, Güneş metalisitesinde ($[M/H]=0$) başlangıç modelleri hesaplandı.

Ardından seçilen çizgi profilleri için, SYNTHE [22, 23] programı ile sentetik termal profiller oluşturuldu. SYNTHE temel olarak, verilen bir yıldız atmosferi için seviye popülasyonlarını hesap ederek istenilen dalgaboyu bölgesindeki geçişleri ve çıkan akıyı (spektrum) hesaplar. Ayrıca, hesaplanan çizgilere mikrotürbülans, makrotürbülans, rotasyon ve aletsel profil eklenmesine izin verir.

Gözlemsel profilin Fourier dönüşümünü sentetik termal profilin Fourier dönüşümü ile karşılaştırmak için, gözlemsel profilden aletsel profil etkisinin çıkarılması gereklidir. Elimizde gerçek bir aletsel profil bulunmayıp, DAO'dan alınan spektrumlar için sentetik spektrum oluşturmada kullanılan sayısal bir aletsel profil mevcuttur. Şekil 3.6'da bir SYNTHE girdi dosyasındaki sayısal aletsel profil satırları görülmektedir. Bu sebeple aletsel profilin Fourier dönüşümünü elde edebilmek için şöyle bir yol izlenmiştir:

```

#/usr/local/kurucz/bin/rotate.exe<<EOF
# 1
#10.0
#EOF
#mv ROT1 ${outspec}
ln -s $outspec fort.21
#rm fort.5 fort.1
#/usr/local/kurucz/bin/broaden.exe << EOF
#MACR 8.00KM
#EOF
#rm fort.21
#mv fort.22 fort.21
/usr/local/kurucz/bin/broaden.exe << EOF
PROFILE 32.00
RED 0.101518 0.096484 0.084203 0.069204 0.055881 0.043371 0.030640
RED 0.019478 0.011624 0.007428 0.005594 0.004696 0.003504 0.002669
RED 0.002294 0.002069 0.001746 0.001472 0.001267 0.001090 0.000911
RED 0.000756 0.000624 0.000507 0.000398 0.000298 0.000212 0.000141
RED 0.000082 0.000034 0.000004 0.000000
BLUE 0.101518 0.096484 0.084203 0.069204 0.055881 0.043371 0.030640
BLUE 0.019478 0.011624 0.007428 0.005594 0.004696 0.003504 0.002669
BLUE 0.002294 0.002069 0.001746 0.001472 0.001267 0.001090 0.000911
BLUE 0.000756 0.000624 0.000507 0.000398 0.000298 0.000212 0.000141
BLUE 0.000082 0.000034 0.000004 0.000000
EOF
set asc = 6431_502_44_inst.asc
#set lines = 6431_502_44.dat
ln -s dmp.dmp fort.4
rm -f fort.1
rm -f fort.2
rm -f fort.3
ln -s fort.22 fort.1

```

Şekil 3.6 SYNTHE girdi dosyasında sayısal aletsel profil. (PROFILE satırı ile başlayıp EOF satırı ile biten kısım)

SYNTHE’de sayısal aletsel profil girdi olarak verilerek, aletsel profil ile konvolüsyon halinde olan bir sentetik termal profil hesaplandı. Elde edilen bu sentetik termal profil $T(\lambda)$ ile gösterilirse,

$$T(\lambda) = F(\lambda) * I(\lambda) \quad (3.1)$$

olarak ifade edilebilir. Burada $F(\lambda)$ sentetik termal profil ve $I(\lambda)$ aletsel profildir. Bu profilin Fourier dönüşümü alındığında,

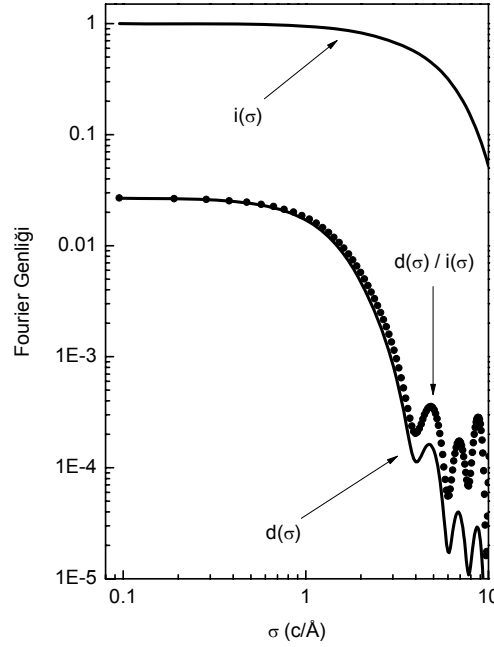
$$t(\sigma) = f(\sigma)i(\sigma) \quad (3.2)$$

olarak yazılır. Böylece aletsel profil içeren sentetik termal profilin Fourier dönüşümü, aletsel profil içermeyen sentetik termal profilin Fourier dönüşümüne bölünerek, aletsel profilin Fourier dönüşümü elde edilebilir.

$$i(\sigma) \equiv \frac{f(\sigma)i(\sigma)}{f(\sigma)} \quad (3.3)$$

Bu şekilde gözlemsel profilden aletsel profilin etkisini çıkarmak mümkün hale gelir. Bunun için gözlemsel profilin Fourier dönüşümü aletsel profilin Fourier dönüşümüne bölünür $[d(\sigma) / i(\sigma)]$.

Şekil 3.7 aletsel profil etkisi çıkarılmış gözlemsel profilin ve aletsel profilin Fourier dönüşümünü göstermektedir. Böylece gözlemsel profillerin Fourier dönüşümleri sentetik termal profillerin Fourier dönüşümleri ile karşılaştırılabilir hale gelmiştir.



Şekil 3.7 Gözlemsel profilin Fourier dönüşümünden aletsel profilin etkisinin çıkartılması.

Sentetik termal profiller oluşturulurken, Tablo 3.1'deki referanslarda verilen mikrotürbülans değerleri başlangıç değeri olarak alındı ve yıldızlar için hesaplanan başlangıç modelleri kullanılarak 41 Cyg için $\xi = 2.8$ km/sn, α Per için $\xi = 4.5$ km/sn ve γ Ser için $\xi = 1.2$ km/sn'lik mikrotürbülans hızına sahip, makrotürbülans, rotasyon ve aletsel profil içermeyen profiller hesaplandı.

Elde edilen sentetik termal profillerin Fourier dönüşümleri alınarak, gözlemsel profilin Fourier dönüşümü ile karşılaştırıldı. Mikrotürbülansı elde etmek için gerekli olan, her

iki dönüşüm için $\sigma = 0$ 'da ordinat ekseni değerlerinin aynı olması ve ilk minimumlarının aynı frekansta olması şartları sağlanıncaya kadar, analizi yapılan çizgiye ait elementin bolluk değeri değiştirilerek oluşturulan model atmosferler için farklı mikrotürbülans hızlarına sahip sentetik termal profiller hesaplanarak işleme devam edildi.

3.4 ÇİZGİ OLUŞUM DERİNLİKLERİNİN HESAPLANMASI

Çizgi oluşum derinliklerinin hesabında, yıldızların bolluk hesabını tayin etmek amacıyla yazılmış olan WIDTH9 [24] programı kullanıldı.

WIDTH9 verilen bir model için gözlemlenen çizgilerin eşdeğer genişliklerini hesaplanan çizgilerin eşdeğer genişlikleri ile karşılaştırmak yoluyla bolluk hesabı yapmaktadır. WIDTH9 çıktılarında, incelenen her bir çizgi için ortalama çizgi oluşum derinliği de yer almaktadır. Şekil 3.8'de bir WIDTH9 çıktısının çizgi oluşum derinliğine ait kısmı örnek olarak gösterilmiştir.

```

614.7741 -2.721 1.5 31364.439 0.5 47626.074 26.01(3D)4s b4D(5D)4p z4P
614.7741 152 8.53 -6.53 -7.88K88 0 0 0 0.000 0 0.000 0 0
0 41 Cygni 614.7741 8.53 -6.53 -7.88 0.99 14.84 -4.747
VTURB ABUND -5.46 -4.96 -4.74 -4.72 -4.46 -4.75
4.20 EW 0.835 1.095 1.172 1.180 1.254 1.172
6.84 12.45 14.87 15.15 17.93 14.84
DEPTH 1.21 1.08 0.99 0.98 0.87 0.99

```

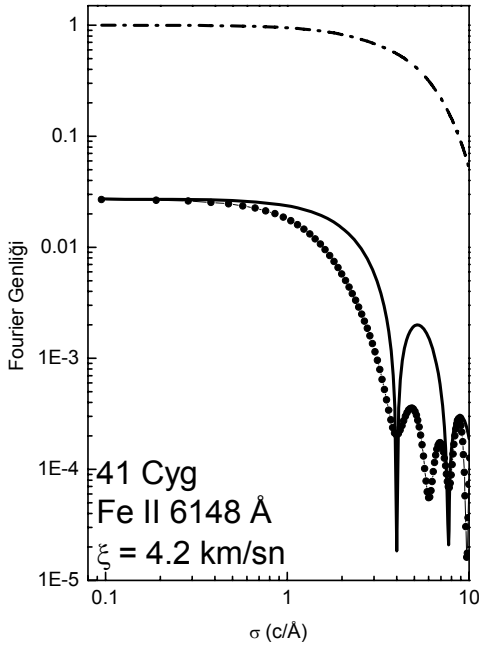
Şekil 3.8 WIDTH9 çıktısının ortalama çizgi oluşum derinliğine ait kısmı (DEPTH satırı).

Mikrotürbülans hızı değeri belirlenebilen her bir çizgi için Tablo3.1'de verilen çalışmalardan alınan eşdeğer genişlik ölçümleri kullanılarak WIDTH9 programı yardımıyla ayrı ayrı hesaplama yapıldı. Böylece her bir çizginin Fourier analizi yöntemi ile elde edilen mikrotürbülans hızına karşılık çizginin ortalama oluşum derinliği elde edildi.

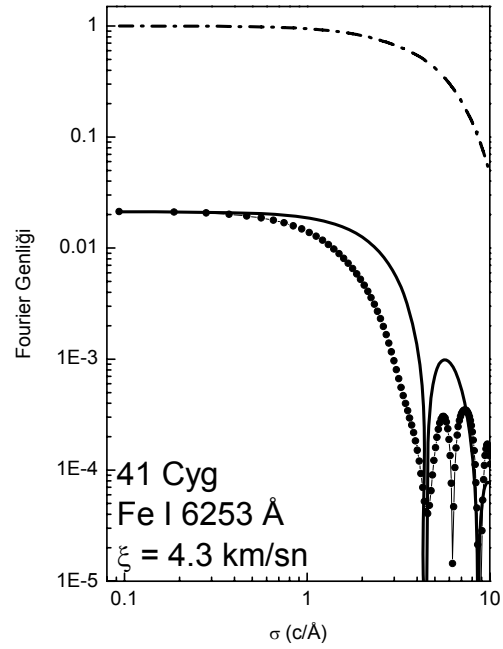
4. BULGULAR

Şekil 4.1(a-e) 41 Cyg yıldızına ait çizgiler için yapılan karşılaştırmaları ve tayin edilen mikrotürbülans hızlarını göstermektedir. Şekillerde aletsel etkilerden arındırılmış gözlemsel profilin Fourier dönüşümü ($d(\sigma)/i(\sigma)$) nokta ile ($\bullet$), sentetik termal profilin Fourier dönüşümü ($f(\sigma)$) sürekli çizgi ile (—) ve aletsel profilin Fourier dönüşümü ($i(\sigma)$) kesikli noktalı çizgi (—•—) ile gösterilmiştir.

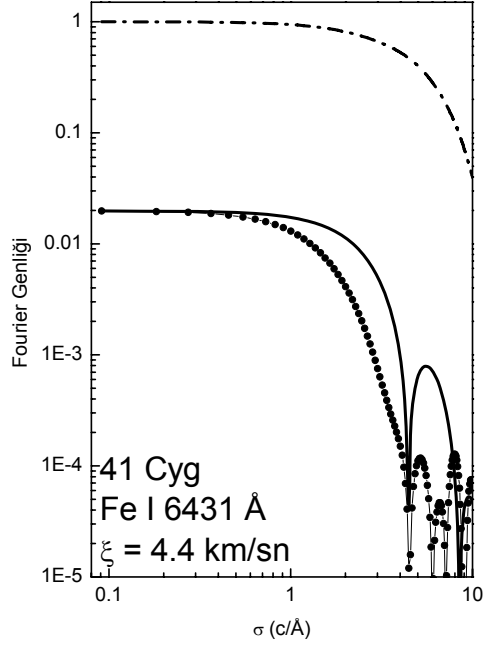
Çizgilerin mikrotürbülans hızları ve ortalama çizgi oluşum derinlikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.



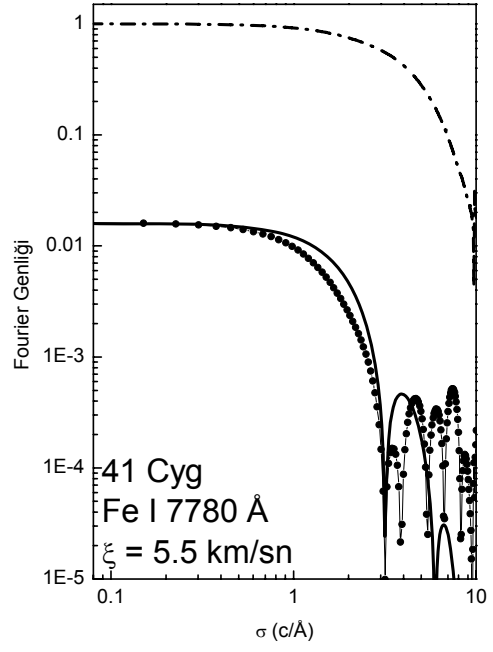
Şekil 4.1a



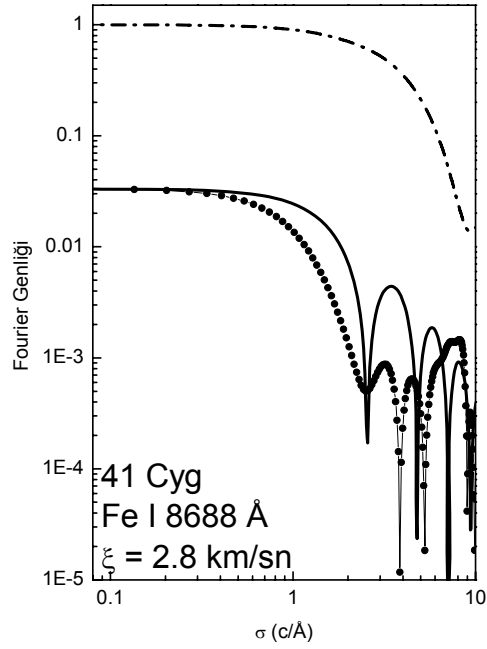
Şekil 4.1b



Şekil 4.1c



Şekil 4.1d

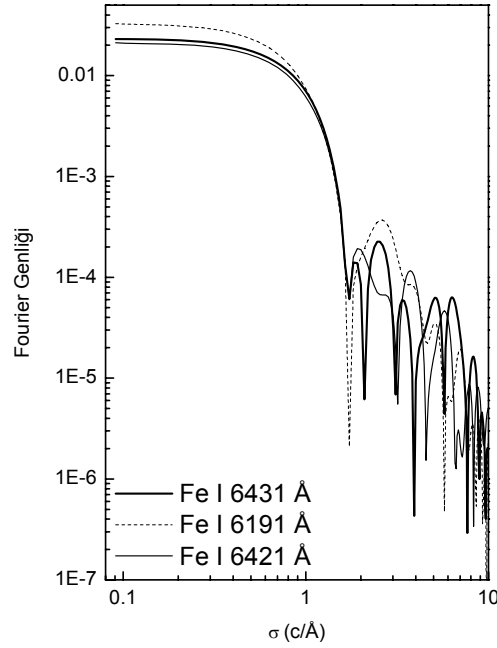


Şekil 4.1e

Tablo 4.1 41 Cyg yıldızı için analizi yapılan çizgilere ait mikrotürbülans hızları ve ortalama çizgi oluşum derinlikleri.

Çizgi	ξ (km/sn)	Ortalama Çizgi Oluşum
		Derinliği ($\tau_v=1$ deki $\log(\rho x)_v$)
FeII 6148Å	4.2	1.00
FeI 6253Å	4.3	1.10
FeI 6431Å	4.4	1.11
FeI 7780Å	5.5	1.17
FeI 8688Å	2.8	0.23

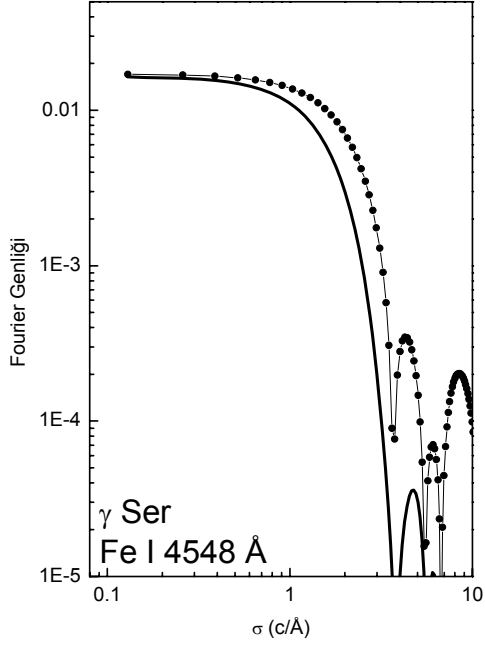
α Per yıldızı için seçilen bütün çizgilerin Fourier dönüşümlerinin hepsinin ilk minimumlarının aynı yerde olduğu ve dönüşümlerin genel olarak aynı yapıyı gösterdiği görülmüştür. Şekil 4.2’de bu yıldıza ait çizgilerin Fourier dönüşümlerinin karşılaştırılması görülmektedir.



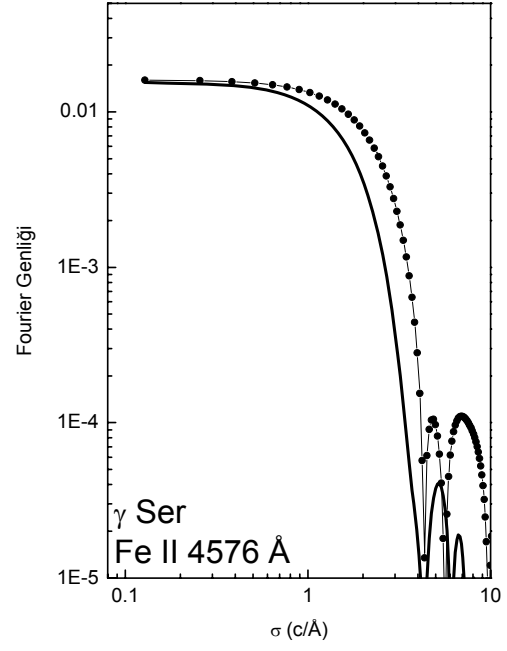
Şekil 4.2 α Per yıldızına ait çizgilerin Fourier dönüşümlerinin karşılaştırılması.

γ Ser yıldızı için seçilen bütün çizgilerin Fourier dönüşümlerinde, sentetik termal profilin Fourier dönüşümü ile uygun şekilde çakışma sağlaması için gerekli olan, “sentetik termal profillerin Fourier dönüşümlerinin genliği her zaman tüm frekanslarda aletsel profil etkisi çıkarılmış gözlemsel profilin dönüşümünden büyük ya da ona eşit olmalıdır.” şartını sağlamadığı görülmüştür. Şekil 4.3 (a-b) γ Ser yıldızına ait analizleri

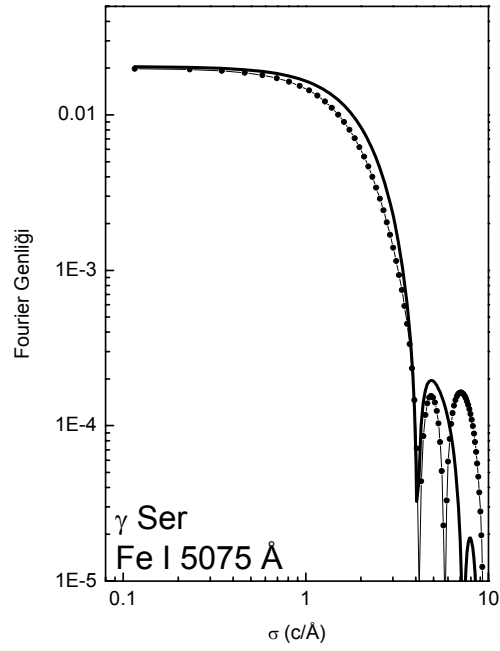
göstermektedir. Şekilde gözlemsel profilin Fourier dönüşümü ($d(\sigma)$) nokta ile ($\bullet$) ve sentetik termal profilin Fourier dönüşümü ($f(\sigma)$) sürekli çizgi ile (—) gösterilmiştir.



Şekil 4.3a



Şekil 4.3b



Şekil 4.3c

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan analiz sonucunda γ Ser yıldızının seçilen çizgileri için mikrotürbülans hızı elde edilememiştir. Bunun sebebi analize uygun olarak seçilen çizgilerin yeterince şiddetli olmamasından kaynaklanıyor görünmektedir. 41 Cyg ve α Per yıldızları için seçilen çizgilerin eşdeğer genişlikleri 100 mÅ'ün üzerindeyken γ Ser için seçilen çizgilerin eşdeğer genişlikleri 100 mÅ'ün altındadır. Tablo 5.1 üç yıldız için seçilen çizgilerin eşdeğer genişliklerini göstermektedir.

Tablo 5.1 Analizde kullanılan çizgiler ve eşdeğer genişlikleri.

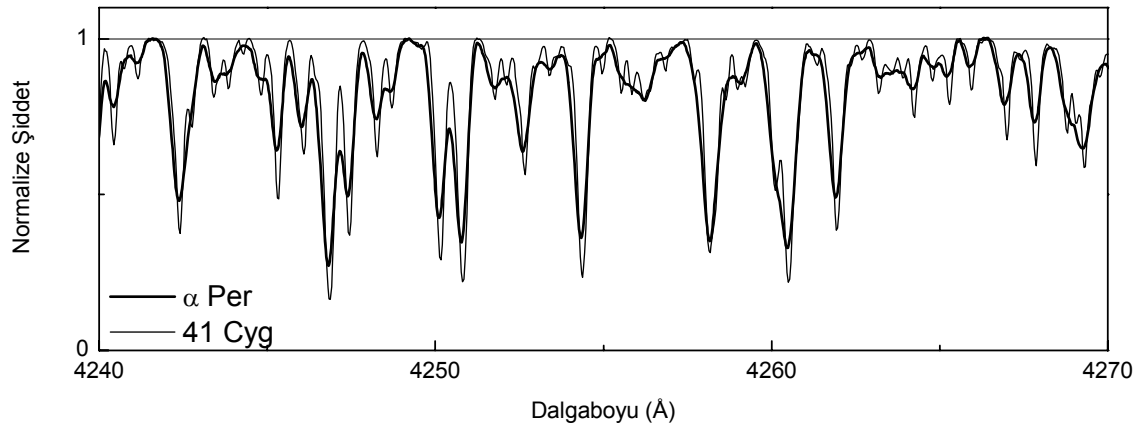
Yıldız	Çizgi	Eşdeğer Genişlik (mÅ)
41 Cyg	FeII 6148Å	148.4
	FeI 6253Å	111.2
	FeI 6431Å	109.9
	FeI 7780Å	103.5
	FeI 8688Å	240.8
α Per	FeI 6191Å	184.5
	FeI 6421Å	132
	FeI 6431Å	139.3
γ Ser	FeI 4548Å	68.3
	FeII 4576Å	69.0
	FeI 5074Å	86.3

α Per yıldızının çizgilerinin Fourier dönüşümlerinin karakteristiği yıldızın spektral çizgilerine rotasyonun hakim olduğunu göstermektedir. Bu sebeple α Per yıldızı için mikrotürbülans hızı tayini yapılamamıştır. Tablo 5.2 her üç yıldızın rotasyon hızlarını göstermektedir.

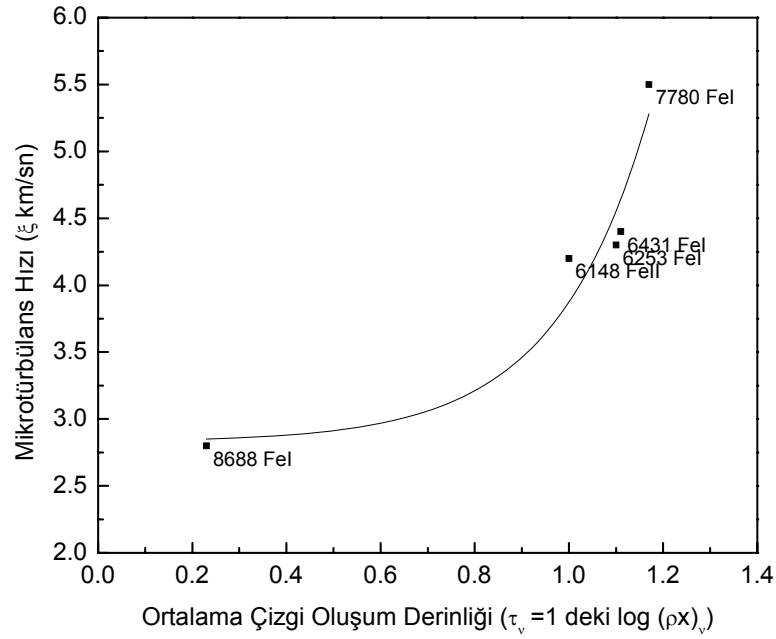
Tablo 5.2 Yıldızların rotasyon hızları.

Yıldız	Rotasyon Hızı ($V \sin i$) [25]
41 Cyg	12 km/sn
α Per	20 km/sn
γ Ser	7 km/sn

Şekil 5.1 her ikisi de aynı spektral tip ve lüminozite sınıfından olan 41 Cyg ve α Per yıldızlarının spektrumlarını göstermektedir. α Per yıldızında spektral çizgilerin rotasyondan dolayı genişlediği şekilden görülmektedir.

Şekil 5.1 41 Cyg ve α Per yıldızlarının spektrumlarının karşılaştırılması.

41 Cyg yıldızının analizi yapılan çizgilerinden elde edilen mikrotürbülans hızları Tablo 4.1’de verilmişti. Elde edilen bu hız değerleri, Gray ve diğ. [1]’nin çalışmasında bulunduğu 4.4 km/sn’lik hız değeri ve bu çalışmada kullanılmak üzere eşdeğer genişliklerin alındığı Adelman ve diğ. [19] çalışmasında verilen 2.8 km/sn’lik hız değeri ile uyumludur. Tablodaki sonuçlar çizgilerin ortalama oluşum derinlikleri ile mikrotürbülans hızları arasında bir ilişki olduğu şeklinde yorumlanabilir. Şekil 5.2 bu ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.2 41 Cyg yıldızının atmosferinde mikrotürbülansın derinlik bağılılığı. (Fitin fiziksel bir anlamı bulunmayıp, sadece muhtemel ilişkinin daha rahat görülebilmesi için veri noktalarına fit edilmiş, rastgele seçilmiş bir matematiksel fonksiyondur (Laplace fiti).)

Şekilden, atmosferde yükseklikle birlikte mikrotürbülans hızında da bir artış olduğu görülmektedir. İncelenebilen çizgi sayısının azlığı sebebi ile bu ilişkinin şekli hakkında kesin bir şey söylemek mümkün olmamakla birlikte bulgular yıldız atmosferinde mikrotürbülans hızının derinlikle artan bir şekilde arttığını düşündürmektedir. Bu sonuçlar mikrotürbülansın derinlikle değişimine ilişkin daha önce yapılan ve bu çalışmanın giriş bölümünde bahsedilen çalışmalarla uyum sergilemektedir. Bununla birlikte gerek incelenen çizgi sayısının yetersizliği gerek muhtemel non-LTE etkiler ve gerekse sistematik f-değeri hataları gibi faktörlerin bu sonuçlarda etkili olabileceği göz önünde tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Gray, R. O., Groham, P. W., Hoyt, S. R., 2001, The Physical Basis Of Luminosity Classification In The Late A-, F-, and Early G-Type Stars. II. Basic Parameters Of Program Stars And The Role Of Microturbulence, *AJ*, 121, 2159.
- [2] Wright, K. O., 1946, Curves Of Growth For Neutral and Ionized Atoms In The Spectrum Of Alpha Persei, *JRASC*, 40, 183.
- [3] Wright, K. O., 1947, Curves Of Growth For Stars Of Class F Determined From Lines Of Neutral Iron, *JRASC*, 41, 49.
- [4] Wright, K. O., E van Dien, 1949, The Spectrum Of Epsilon Aurigae, 1946-1948, *JRASC*, 43, 15.
- [5] Parsons, S. B., 1967, A Fine Analysis Of Two Yellow Supergiants I. Preliminary Results, *ApJ*, 150, 263.
- [6] Wolf, B., 1971, The Atmosphere Of The A0Ib Supergiant η Leonis, *A&A*, 10, 383.
- [7] Groth, H. G., 1972, Effects Of Velocity And Turbulence Gradients On A-Type Supergiant Spectra, *A&A*, 21, 337.
- [8] Rosendhal, J. D., 1970, Microturbulence In A-Type Supergiants, *ApJ*, 160, 627.
- [9] Aydın, C., 1972, Atmospheres Of A-Type Supergiants, *A&A*, 19, 369.
- [10] Takeda, Y., 1992, Spectroscopic Study Of Microturbulence In The Atmosphere Of Arcturus, *A&A*, 253, 487.
- [11] Gray, D. F., 1978, Turbulence In Stellar Atmospheres, *Soph*, 59, 193.
- [12] Glebocki, R., 1972, Microturbulence In Atmospheres Of F, G, K, Type Stars I. Curve Of Growth Analysis Of G, K, Type Subgiants, *AcA*, 22, 141.
- [13] Gray, D. F., 1976, *The Observation and Analysis of Stellar Atmospheres*, John Wiley & Sons, Inc. USA, 0-471-32380-2.
- [14] Gray, D. F., 1973, On The Existence Of Classical Microturbulence, *ApJ*, 184, 461.
- [15] Gray, D. F., 1973, The Search For Stellar Microturbulence, *JRASC*, 67, 241.

- [16] Smith, M. A., Gray, D. F., 1976, Fourier Analysis Of Spectral Line Profiles: A New Tool For An Old Art, *PASP*, 88, 809.
- [17] Gray, D. F., 1977, A Test Of The Micro-Macroturbulence Model On The Solar Flux Spectrum, *ApJ*, 218, 530.
- [18] Gray, D. F., 1988, *Lectures On Spectral-Line Analysis: F, G and K Stars*, The Aylmer Ltd., Aylmer, Ontario, Canada, 0-9693532-0-0.
- [19] Adelman, S. J., Cay, I. H., Tektunalı, H. G., Gulliver, A. F., and Teker, A., 2008, Elementel Abundance Analyses With DAO Spectrograms: XXXI. The Early F Supergiants ν Her (F2II) And 41 Cyg (F5Ib-II), *AN*, 329, No.1, 4.
- [20] Çay, M. T., 2004, *Alfa Persei (F5Ib) Süperdev Yıldızının Spektrel Analizi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] Caliskan, H., Adelman, S. J., Cay, M. T., Cay, I. H., Gulliver, A. F., Tektunali, G. H., Kocer, D., and Teker, A., 2002, Elementel Abundance Analses With DAO Spectrograms XXVI. The Superficially Normal Stars γ Serpentis (F6V) And 101 Herculis (A7V), *A&A*, 394, 187.
- [22] Kurucz, R. L., 1993, CD-ROM 13, 18
- [23] Sbordone, L., Bonifacio, P., Castelli, F., and Kurucz, R. L., 2004, ATLAS and SYNTHE Under Linux, *Mem. S. A. It. Suppl.*, Vol.5, 93.
- [24] Kurucz, R. L., and Avrett, E. H., 1981, Solar Spectrum Synthesis. I. A Sample Atlas From 224 to 300 nm, *SAO Special Report*, 391.
- [25] <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Betül CİVELEKLER

Doğum Tarihi : 04.06.1981

Doğum Yeri : Eskişehir

Öğrenim Durumu:

Lise : Prof. Dr. Orhan Oğuz Lisesi (Y. Dil Ağırlıklı) (1999)

Lisans : İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü (2004)

Yabancı Dil : İngilizce

Katıldığı Toplantılar:

- 1) XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, V. Ulusal Öğrenci Kongresi, (dinleyici), (8-12 Eylül 2008, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Çanakkale)
- 2) I. Ulusal Gezegenleri Toplantısı, (2 Mayıs 2009, İzmir Özel Türk Koleji, Çiğli İzmir)
- 3) 2009 Dünya Astronomi Yılı'nda Türkiye'deki Astronomi Faaliyetlerinin Değerlendirilmesi Sempozyumu, (dinleyici), (20 Kasım 2009, İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul)

Yaz Okulları:

- 1) IARS Astrophysics Summer Schools, (20 Ağustos-9 Eylül 2007, Boğaziçi Üniversitesi, TÜBİTAK Feza Gürsey Enstitüsü, İstanbul)
- 2) 30th International School for Young Astronomers (ISYA), (1-22 Temmuz 2008, Özel Yüzyıl Işıl Okulları, İstanbul, Türkiye)
- 3) VI. Temel Bilimler Lisansüstü Yaz Okulu, IRAF&Tayfsal İndirgeme, (11-17 Ağustos 2008, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul)