

ATMOSFERİN ŞEFAFLIK DAĞILIMININ (ŞD) ELDE EDİLMESİ VE ETKİSİNİN GİDERİLMESİ

Nurettin ŞENYER¹ ve Çingiz EFENDİYEV²

¹ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Kurupelit, 55139, Samsun. e-posta: nurettins@omu.edu.tr

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Kurupelit, 55139, Samsun. e-posta: cefendi@omu.edu.tr

ABSTRACT

In this work, since removing effects due to atmosphere's transparency, it is developed an algorithm that is carried out successively and same time, whose window size is getting bigger. This algorithm is called as ATD-Remover (Atmosphere's Transparency Distribution - Remover, AŞD-G: Atmosfer Şeffaflık Dağılımı - Giderici). That the algorithm is based on ATD-Remover's input (original) and output (restored) images' analysis is developed for extracting Atmosphere's transparency distribution. This algorithm is called as ATD-Extractor (AŞD-Ç: AŞD-Çıkarıcı). After it is given details about these algorithms, we present initial results obtained. According to these results, developed algorithms conclude successful.

Anahtar Sözcükler: atmosferik türbülans, şeffaflık dağılımı, ortanca filtre

1. GİRİŞ

En kötü durumda insan sağlığına ve yaşamına zarar verebilen, hem yer hem de uzay modern iletişim sistemleri için de önemli bir bozucu etken olabilen, Dünya üzerindeki iklimin ve magnetosferinin yapısını şekillendiren güneşten kaynaklı manyetik etkinliklere neden olan oluşumların sürekli olarak izlenmesi, incelenmesi ve karakterize edilmesi, sistem tasarımı ya da etkili uyarı ve tahmin sistemlerinin geliştirilmesi için hayati öneme sahiptir [1]. Maliyet, teknik imkânsızlıklar vs. den ötürü uzay ve balon yolu gözlemler sınırlı zaman aralığında, sayıda ve çözünürlükte yapılabilmektedir. Daha düşük maliyetli çözüm sunan yerüstü gözlemlerinden gözlemler ise atmosferde meydana ge-

len türbülans (burgaç) hareketliliğinden derin bir şekilde etkilenmektedir.

Çalışmamızda kullandığımız, görünür ışıktaki görünebilen en derin katman olan fotosferdeki oluşumlardan granülleri [1] içeren görüntü serilerinin çekildiği gözlemevi - SAO (Shamakhy Astrophysical Observatory) bölgenin türbülans olaylarının en az etkili olduğu yerinde kurulmuş olmasına karşın, ardışık görüntülerde ve hatta görüntünün farklı bölgelerinde türbülans etkisi görüntüyü çok derinden ve farklı derecede etkilemekte ve yorumlamayı oldukça güçleştirmektedir. Atmosferik etki, küçük mercekler ağıyla modellenilebilir. Bu modeldeki her mercek, zamansal- ve konumsal-farklılığa sahip olan bir optik davranış gösterir. Optik davranışı ise şeffaflık ve optik bozulmaların (aberrations) bir toplamı olarak ifade etmek mümkündür. Atmosferin şeffaflık farklılığı görüntünün parlaklık dağılımını bozuyorken, optik bozulmalar konumsal ve ölçeksel bozukluklara neden olur. Atmosferin optik bozulmalarının modellenmesi üzerine yapılan daha önceki çalışma [2] oldukça iyi sonuçlar üretmiştir.

Bu çalışmada yerüstü gözlemleri sırasında karşılaşılan, soğurma, yayma, saçılma, kırınım ve ayrılma özelliklerinin biçimlendirdiği [3, 4] atmosferin şeffaflık dağılımından kaynaklı parlaklıktaki (genliğindeki) bozulmayı gidermektir. Bu amaçla sayıtsallık ve doğrusal olmama doğasının [5] yanı sıra kenarlara dokunmadan darbe biçimli yapıları giderme [6] ve yoğun bir şekilde bozulmuş görüntülerdeki parlaklık çevritlerini (contours) çıkarmadaki [7] başarısı da dikkate alınarak ardışık uygulamalar sırasında boyutu artan *Ortanca Filtre* (AOF) temelinde bir algoritma oluşturulmuştur (AŞD-Giderici ya da -Onarıcı (AŞD-G)). Bu algoritmayla elde edilen öncül sonuçlar verilmiştir. Ham ve onarılmış görüntüyü girdi kabul eden *Atmosfer Şeffaflık Dağılımı Çıkarımı* (AŞD-Ç) için bir algoritma önerilmiş ve bu algoritmayla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan görüntüler Azerbaycan Bilimler Akademisinin Şamahı Astrofizik Gözlemevinden temin edilmiştir. Yardımlarını esirgemeyen Dr. Mehmet Kerimbeyov beye teşekkürler.

2. ORTANCA FİLTRELEME

Gözlemlenen işaretin (özel olarak görüntünün) arzu edilen bileşenini, ayırarak ya da zayıflatarak gürültü, girişim ya da aynı işaretin diğer bileşenlerinden çıkarılması istendiğinde, işaret işlemenin en temel biçimi olan filtrelemeye başvurulur [5]. Filtreleme ise doğrusal olup-olmamasına göre iki sınıfa ayrılır. Kolay tasarımı ve çoğu durumdaki mükemmel başarımı doğrusal filtreleri işaret işlemede birincil araç yapmıştır. Bu, özellikle, istenen işaretin tayfının girişiminkinden önemli oranda farklılaşabildiği tayf ayrılması için geçerlidir. Fakat çoğu durumda keskin kenarlı işaretler üzerinde ve böylelikle geniş tayflı işlem yapmak gerekir. Ne yazık ki, doğrusal yatıştırıcı filtreler işaret kenarlarını (contour ya da edge) da yumuşatır. Yeni çıkan çoklu ortam ve iletişim uygulamalarının çok daha karmaşık olmaları, ileri düzeyli (solistike) işaret işleme algoritmalarının kullanımını gerekli kılar [5]. Ayrıca doğrusal filtrelerin sayısal gerçekleştirilmesi hantal ve yavaş olabilmektedir [8]. Doğrusal filtreler tam olarak darbe tarzındaki gürültüyü gideremez ve kötü başarımlar sunar [9].

Doğrusal olmayan yaklaşımlar, belli tür görüntü işleme sorunlarını doğrusal filtrelerden daha iyi çözebilirler. *Ortanca Filtreler* (*OF, Median Filter*), doğrusal olmayan filtre sınıfında en sıklıkla kullanılandır [6]. Birçok uygulamada, kenarlara dokunmadan darbe biçimli yapıları giderme özelliğinden ötürü *OF* yukarıda anlatılan sorunların üstesinden gelmek için kullanılır [6, 10]. Ayrıca median filtrelerin sayısal olarak gerçekleştirilmesi kolaydır ve özellikle dilimleme ve paralel işlemenin kullanılmasıyla [11], göreceli olarak daha hızlı yürütülebilmesine olanak tanır [12]. Bu yüzden *OF*, darbe biçimli gürültü giderilmesinin öncelikli hedef olduğu konuşma işleme [13] problemi, kenarların kritik olduğu durumlardaki [14] ya da bazı görüntü işleme adımlarının ardından oluşan yapaylıkları giderme [15] görüntü problemini içine alan çok geniş bir sayısal işaret işleme alanında gittikçe artan kullanıma sahiptir.

Hareketli *OF*, ilk olarak Tukey [16] tarafından zaman serilerinin doğrusal olmayan bir yolla düzeltilmesi için önerilmiştir. İşaret işlemedeki popüleritesini ise Gallagher ve Wise'in [17] birlikte yazdıkları makaleden alır. Hareketli *OF*'yi tanımlamak için, $\{X(\cdot)\}$ 'i ayrık zaman ardışıklığı olarak alalım. $\{X(\cdot)\}$ ardışıklığının üzerinden her geçişinde n zaman anında, tek sayılı ardışık örnekler kümesinden oluşan $X(n)$ gözlem vektörünü kapsar. Gözlem penceresinin merkezi n' 'de yerleştirildiğinde,

$$\mathbf{X}(n) = [X(n - N_L), \dots, X(n), \dots, X(n + N_R)]^T \quad (1)$$

burada yer alan N_L ve N_R , negatif olmayan erimi

gösteren tamsayılardır ve $N = N_L + N_R + 1$, pencere boyutudur. Çoğu durumda pencere, $X(n)$ etrafında bakışlıdır ve $N_1 = N_L = N_R$ seçilir. *OF* $\{X(\cdot)\}$ -giriş ardışıklığı üzerinde işletildiğinde, n zaman indisiyle tanımlanan $\{Y\}$ çıkış ardışıklığını üretir,

$$\begin{aligned} Y(n) &= ORTANCA[X(n - N_1), \dots, X(n), \\ &\quad \dots, X(n + N_1)] \\ &= ORTANCA[X_1(n), \dots, X_N(n)] \end{aligned} \quad (2)$$

buradaki $X_i(n) = X(n - N_1 - 1 + i)$, $i = 1, 2, \dots, N$. Gözlem penceresi içerisinde yer alan örnekler, sıraya sokulur ve ortanca (ya da ortadaki) değer çıkış olarak alınır. Gözlem penceresindeki örneklerin sıralı hâlini $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(N)}$ olarak isimlendirirsek, *OF*'nin çıkışı,

$$Y(n) = \begin{cases} X_{(\frac{N+1}{2})} & N - \text{tekse} \\ \frac{X_{(\frac{N}{2})} + X_{(\frac{N}{2}+1)}}{2} & \text{diğer} \end{cases}$$

olur.

Sonlu $\{X(\cdot)\}$ örnekleri, $X(1), X(2), \dots, X(L)$ biçiminde indekslenir, buradaki L dizi ya da seri uzunluğunu gösterir. Bu serinin başında ve sonunda filtre uygulanması durumunda, bakışlılık özelliğinden ötürü, pencere merkezi bu uç koordinatta yer alacak ve bir tarafı boş kalacak. Oluşan uç etkisi, genel olarak $\{X(\cdot)\}$ 'in uçlarında N_L adet öne ve N_R adet sona eklenerek çözülür. Eklenen örnekler, keyfi olarak belirlenebilmesine karşın, tipik olarak başa eklenenler ilk örneğin değerinde sona eklenenler de son örneğin değerinde seçilirler [5].

Görüntü üzerinde *OF* uygulayımında iki boyutlu uyarlaması kullanılır. İki boyutlu *OF* durumunda gözlem penceresi (ya da komşuluk örüntüsüyle tanımlanan görüntü elemanı değerleri), Eşitlik 1'in 2D uyarlamasına dönüşür. *OF*, $\{X(\cdot)\}$ -giriş ardışıklığı üzerinde işletildiğinde, $[i, j]$ konumsal indisleriyle tanımlanan $\{Y\}$ çıkış ardışıklığını üretir,

$$\begin{aligned} Y(i, j) &= ORTANCA[X(i - N_1, j - N_1), \\ &\quad \dots, X(i - N_1, j), \dots, \\ &\quad X(i - N_1, j + N_1), \dots, \\ &\quad X(i, j - N_1), \dots, X(i, j), \\ &\quad \dots, X(i, j + N_1), \dots, \\ &\quad X(i + N_1, j - N_1), \dots, \\ &\quad X(i + N_1, j), \dots, X(i + N_1, j + N_1)] \\ &= ORTANCA[X_1(i, j), \dots, X_M(i, j)] \end{aligned} \quad (3)$$

buradaki $M = N \times N$, $X_k \hat{=} X_k(i, j) = X(i - N_1 - 1 + m, j - N_1 - 1 + n)$, $k = 1, 2, \dots, M$, $m = (k \bmod N)$, $n = \lceil k/N \rceil$ ve $[x]$ işaretlemesi, x 'den daha büyük olan en yakın tamsayıyı gösterir. Gözlem penceresi içerisinde yer alan örnekler, sıraya sokulur ve ortanca (ya da ortadaki) değer çıkış olarak

alınır. Gözlem penceresindeki örneklerin sıralı hâlini $X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(M)}$ olarak isimlendirirsek, OF 'nin çıkışı,

$$Y(i, j) = \begin{cases} X_{(\frac{M+1}{2})} & M - \text{tekse} \\ \frac{X_{(\frac{M}{2})} + X_{(\frac{M}{2}+1)}}{2} & \text{diğer} \end{cases}$$

olur. Son olarak girdi görüntüsü, filtre boyutu ve çıktı görüntüsü arasındaki ilişkiyi ifade etmek için aşağıdaki gösterilimi verebiliriz,

$$Y^\ell(\bullet) \hat{=} ORTANCA(X^\ell(\bullet), N^\ell) \quad (4)$$

Böylelikle ℓ . adımda $X^\ell(\bullet)$ girdisi üzerinden N^ℓ boyutlu OF uygulandığında $Y^\ell(\bullet)$ çıktısı elde edilir.

3. SORUN TANIMI

Görünür ışıktaki görünebilen en derin katman olan fotosferdeki oluşumlardan granüllerin zamanla birleşerek oluşturduğu süper-granülasyonlar, yaygın olan düşünceye göre zaman içerisinde lekelerin oluşmasına neden olurlar. Lekelerin sayısı, dünya üzerindeki iklim üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir [2].

Bu yüzden güneş yüzeyi oluşumları üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Güneşten kaynaklı manyetik etkinliklere neden olan bu oluşumların sürekli olarak izlenmesi, incelenmesi ve karakterize edilmesi, sistem tasarımı ya da etkili uyarı ve tahmin sistemlerinin geliştirilmesi için hayati öneme sahiptir [18]. Maliyet, teknik imkânsızlıklar vs. den ötürü uzay ve balon yollu gözlemler sınırlı zaman aralığında, sayıda ve çözünürlükte yapılabilmektedir. Daha düşük maliyetli çözüm sunan yerüstü gözlemlerinden gözlemler ise atmosferde meydana gelen türbülans (burgaç) hareketliliğinin etkisi altındadır. Elimizdeki seri görüntüler, bölgenin türbülans etkisinin en düşük olduğu bölgesinde kurulmuş olan *Şamahu Gözlemevi* (SAO)'nde, türbülans istatistikleri ve gözlemler temelinde en temiz atmosferik koşullarda, ardışık olarak çekilmiştir. Bu çekimler fotoğrafik sinema kameraları yardımıyla yapılmıştır ve çekim hızı 24 kare/saniye'dir. Bu çekimlerde atmosferik etkiler en alt düzeydedir. [2] makalesinde verilen *TO-BKS* algoritması yardımıyla, bir seri çekim içerisindeki en iyi kareler belirlenmektedir. Bundan sonrası ise, bu iki aşamalı olarak seçilmiş (iyilerin iyisi) karelerin görsel olarak iyileştirilmesidir. Bunun için sonraki bölümde algoritması verilecek olan *AŞD-Giderici* algoritması geliştirilmiştir.

4. YÖNTEM

Görüntülerimiz, ya görüntüleme algılayıcısının devingen eriminin yetersizliğinden ya da görüntü pozlama

sırasında lens açıklığının hatalı kurulmasından kaynaklı olarak [19] zayıf aydınlanmadan ötürü düşük kontrastlığa sahiptir. Elimizdeki düşük kontrastlı görüntülerimizin gri seviyelerinin devingen erimini arttırmak için *Kontrast Yayma* (Contrast Stretching) ilk olarak uygulanmıştır.

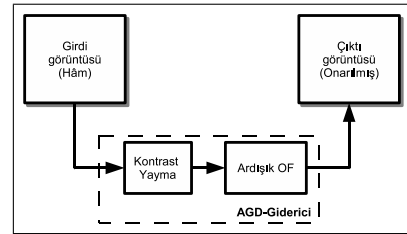
Görüntülerimize dikkatle bakıldığında bir kaç piksellik darbe biçimli istenmeyen oluşumlara sahip olduğu görülebilir. Bundan kurtulmamız gerekiyor. Diğer taraftan parlaklık çevritlerinin de ortaya çıkmasını ve bu sırada görüntünün buğulanmamasını istiyoruz. OF ile ilgili olarak, her geçişi daha fazla buğulanmasına neden olmasına ek olarak, pencere boyutu - N^ℓ ne kadar büyükse görüntünün o derecede buğulanacağını ve ardışık uygulamaları sonunda filtre boyutundan daha küçük ölçekli parlaklık çevritleri bilgilerinin kaybedileceğini biliyoruz. Ayrıca Davies[20]'e göre OF 'nin neden olduğu kayma miktarı,

$$kayma = \frac{1}{6} \times \kappa \times a^2 \quad (5)$$

ile verilmiştir. Burada κ , pencere altındaki görüntünün eğriliği ve a , OF 'nin pencere yarı boyutudur (yani $a = N^\ell/2$). Sonuçta kayma miktarı, pencere boyutuyla karesel bağımlılık göstermektedir.

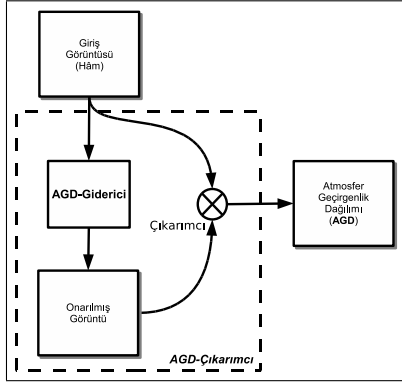
Tüm bu nedenlerin bir sonucu olarak, her bir yineleme adımında pencere boyutu gittikçe artan bir OF uygulayımına karar verdik. Eşitlik 4'de verilen ifade ile gösterilen her bir yineleme adımında, $N^\ell = 3, 5, 7, 9, 11, 13, \dots$ değerlerini almakta ve bir önceki görüntü çıktısı girdi olarak alınmaktadır (yani $X^\ell = Y^{\ell-1}$, $\ell > 1$ ve $X^1 = \text{GirdiGoruntusu}$).

Kontrast Yayma'nın ardından artan boyutlu OF 'nin kullanılmasıyla gerçekleştirilen *AŞD-Giderici*'ye ait algoritmik öbek çizge gösterilimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: AŞD-Giderici algoritması

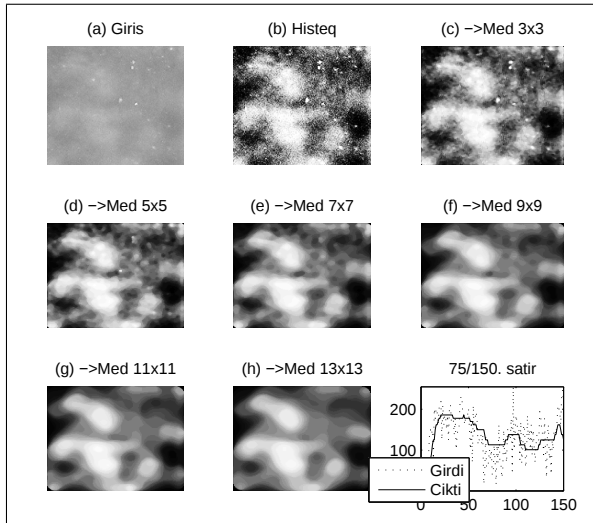
Görüntüdeki buğu ve gürültü katmanlı *AŞD-Giderici* ile çıkarıldıktan yani görüntü onarıldıktan sonra hâm görüntü ile onarılmış görüntü arasındaki farka bakarak atmosfer şeffaflık dağılımını elde etmemize olanak sağlayacak *AŞD-Çıkarımcı*'ye ait algoritma Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: AŞD-Çıkarımcı algoritması

5. SONUÇLAR

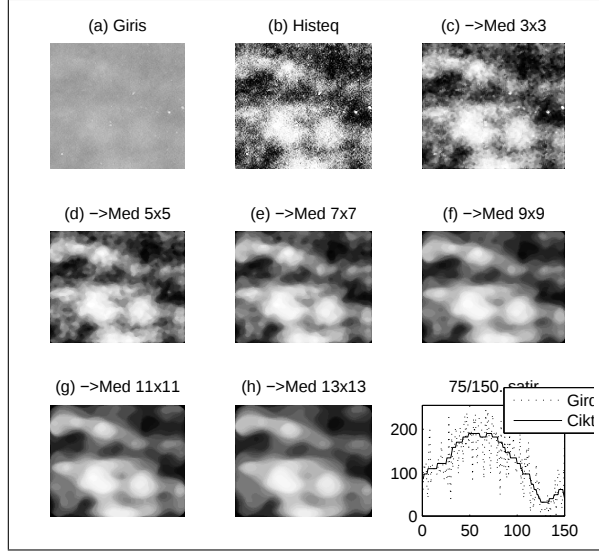
Şekil 3.a'da güneşin fotosferine ait bir çekimden bölüm gözükmemektedir. Bu görüntüdeki parlak alanlar, granülü (ya da merkezini) göstermektedir ve koyu tonda olanlar da granüller arası yollukları göstermektedir. Isı yayılımının etkisiyle ortaya çıkan granülasyon oluşumları atmosferin ve ortamdaki gürültünün etkisiyle buğulanmakta ve yorumlanması güç bir hale gelmektedir. *55310018.bmp* test görüntüsünün orta bölümünden 150×150 'lik alan üzerinde Şekil 1'de verilen algoritma yürütüldüğünde her bir adımındaki görüntüler ve girdi - çıktı görüntülerinin orta satırlarına ait parlaklık değişimi grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Burada çıktı olarak isimlendirilen görüntü en son *OF* uygulayımından elde edilen görüntüdür ki burada *Med 13x13*'tür. Grafikte girdi olarak çizilen, *Kontrast Yayma* ile elde edilen görüntüdür. Bunun sebebi asıl giriş görüntüsünün çok düşük zıtlığa sahip olmasıdır. Grafikte giriş görüntüsü noktalı çizgiyle, çıkış görüntüsü ise düz çizgiyle gösterilmiştir.



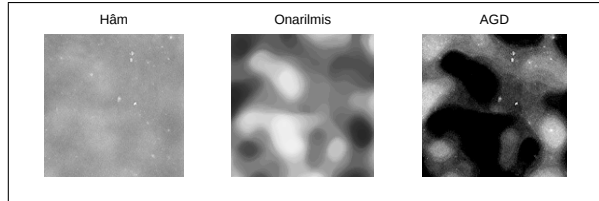
Şekil 3: AŞD-Giderici sonucu 1

Daha buğulu *55310019.bmp* test görüntüsünün orta bölümünden 150×150 'lik alan üzerinde aynı işlem tekrarlandığında Şekil 4'de verilen görüntü elde edildi.

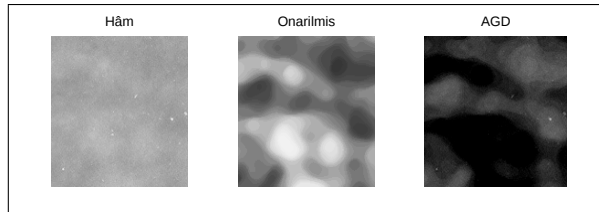
Şekil 3 ve Şekil 4'ten görüldüğü üzere giriş görüntülerinde var olan ve (b) şekillerinden daha net olarak görülebilen darbe biçimli oluşumlardan temizlenmiştir. Granüller arasındaki yolluklar, çok daha belirgin hâle gelmiştir. Granüllerin parlaklık çevritleri kolay bir şekilde görülebilir hâle gelmiştir. Dolayısıyla istenirse granüllerdeki parlaklıkla orantılı sıcaklık dağılımı ve bununla ilgili çözümleme işlemlerine girişilebilir.



Şekil 4: AŞD-Giderici sonucu 2



Şekil 5: AŞD-Çıkarımcı sonucu 1



Şekil 6: AŞD-Çıkarımcı sonucu 2

Şekil 2'de verilen *AGD-Çıkarımcı* algoritması, *55310018.bmp* test görüntüsünün orta bölümünden 150×150 'lik alan üzerinde çalıştırıldığında Şekil 5

ve 55310019.bmp test görüntüsünün orta bölümünden 150×150 'lik alan üzerinde çalıştırıldığında ise Şekil 6'da verilen AŞD görüntüleri elde edildi. Bu şekillerde geçirgenliğin en düşük olduğu seviye siyahla, en yüksek olduğu seviye beyazla ve ara durumlarda gri düzeylerle gösterilmiştir.

6. TARTIŞMA

Önerilen AŞD-Giderici ile hoşnut edici sonuçlar alınmış olmasına karşın algoritmanın parametreleriyle ilgili derinlemesine araştırmaya hâla gereksinim vardır. AŞD-Onarımcı algoritmasında ardışık olarak boyutu artan OF'nin boyut için alt ve üst sınırın belirlenmesi, bunun dışında burada kullandığımız OF, Uyarlanır OF (UOF)'nin özel bir durumudur. Geleneksel UOF'nin nasıl sonuçlar üreteceğine bakmak gerekecek. Bir çok yayında [5, 6, 7] OF'nin yapaylık üretmediği söylenmesine karşın bazı yayınlarda (örneğin [20]) bir takım yapaylıklardan bahsediliyor. Bunların önem derecesinin belirlenmesi ve gerekirse onarılması gerekecek. Toplamsallık temelinde oluşturulan AŞD-Çıkarımcı algoritması henüz başlangıç seviyesindedir. Atmosferin şeffaflık dağılımına etki eden girdilerin dikkatli bir şekilde incelenmesiyle çok daha sağlam, güvenilir bir modele ulaşılması gerekecek.

KAYNAKLAR

- [1] Schrijver C.J. ve Zwaan C., "Solar and Stellar Magnetic Activity," *Cambridge University Press*, 2004.
- [2] Nurettin Şenyer ve Çingiz Efendiyeve, "Güneş fotosferinin araştırılmasında bazı görüntü işlemleri," *URSI-Türkiye 2006 3. Bilimsel Kongresi*, pp. 438–441, 2006.
- [3] Anthony H. Gonzalez, "Atmospheric Effects and Other Observational Issues, Techniques of Observational Astronomy I, Lecture Notes," *Department of Astronomy*, Florida University, 2006.
- [4] Robert W. Sjöberg ve Berthold K. P. Horn, "Atmospheric effects in satellite imaging of mountainous terrain," *APPLIED OPTICS*, Vol. 22, pp. 1702–1717, June, 1983.
- [5] Gonzalo R. Arce, "Nonlinear Signal Processing," *John Wiley & Sons*, 2005.
- [6] Kenneth R. Castleman, "Digital Image Processing," *Prentice-Hall Inc.*, 1996.
- [7] Mark Nixon ve Alberto Aguado, "Feature Extraction and Image Processing," *Newnes Press*, 2002.
- [8] Thomas A. Nodes ve Neal C. Gallagher, "Median Filters: Some Modifications and Their Properties," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. ASSP-30, No. 5, pp. 739–746, 1982
- [9] Bernd Jahne, "Digital Image Processing (5th revised and extended edition)," *Springer-Verlag*, 2002.
- [10] J.C. Russ, "The Image Processing Handbook," *CRC Press*, 2002.
- [11] Thomas A. Nodes ve Neal C. Gallagher, "Some Modifications to the median filter and their properties," in *Proc. 18th Annu. Allerton Conf. Commun. Contr. Comput.*, 1980.
- [12] E. Ataman ve V.K. Aatre and K.M. Wong, "A fast method for real-time median filtering," *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, Vol. ASSP-28, pp. 415–420, 1980.
- [13] R. Steele ve D.J. Goodman, "Detection and selective smoothing of transmission errors in linear PCM," *Bell Syst. Tech. J.*, Vol. 56, pp. 399–409, 1977.
- [14] T. S. Huang, "Two-Dimensional Digital Signal Processing II," *Springer*, 1981.
- [15] Chung-Bin Wu ve Bin-Da Liu and Jar-Ferr Yang, "Adaptive postprocessors with DCT-based block classifications," *IEEE Transactions, Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 13, No. 5, pp. 365–375, 2003.
- [16] Tukey J.W., "Nonlinear (nonsuperposable) methods for smoothing data," in *Congr. Rec. EASCON*, pp. 673, 1974
- [17] Gallagher N.C. ve Wise G.L., "A Theoretical Analysis of the Properties of Median Filters," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. ASSP-29, pp. 1136–1141, 1981
- [18] Arnold Hanslmeier, "The Sun and Space Weather," *Kluwer Academic Publishers*, 2004
- [19] Gonzalez, R.C. ve Woods, R.E., "Digital Image Processing, Second Edition," *Prentice Hall*, 2002.
- [20] E. R. Davies, "Machine vision: theory, algorithms, practicalities," *Academic Press*, 1997.