



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0196

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: March 2011

Accepted: October 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Devrim Akgün**

Duzce University

[devrimakgun@duzce.edu.tr](mailto:devrimakgun@duzce.edu.tr)

Duzce-Turkey

**TDLMS FİLTRESİNİN GÖRÜNTÜ İYİLEŞTİRME İÇİN BAŞARIM ANALİZİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, İki Boyutlu En Küçük Birim Kareler (TDLMS) yöntemine dayanan adaptif görüntü filtresinin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla yöntemi gerçekleyen bir arayüz kullanılarak filtre başlangıç değerleri, adım büyüklüğü ve filtre boyutlarının başarımlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Test parametreleri için algoritmanın başarımlarını karşılaştırmalı olarak görsel ve sayısal sonuçlar ile sunulmuştur. Deneysel sonuçlardan, yüksek gürültü seviyesi için filtre boyutu arttıkça başarımlar artarken, düşük gürültü seviyesi için filtre boyutunun artmasının başarımlarını azaltma yönünde etkilediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü İyileştirme, TDLMS,  
Adaptif Filtreleme, 2D Konvolüsyon,  
Bilgisayar, Java Gui

**PERFORMANCE ANALYSIS OF TDLMS FILTER FOR IMAGE ENHANCEMENT**

**ABSTRACT**

In this study, the filtering performance of adaptive image noise filter based Two Dimensional Least Mean Squares (TDLMS) method was analyzed experimentally. For this purpose, an interface realizing the method was used to investigate the effect of the initial values, step size, and filter dimensions on performance. Comparative evaluations of the performance of the algorithm for test parameters were presented both visually and numerically. The experimental results show that the filtering performance is increased for high noise levels, while it is degraded for lower noise levels.

**Keywords:** Image Enhancement, TDLMS, Adaptive Filtering,  
2D Convolution, Java Gui

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Görüntü işaretine gürültü karışması genelde kamera, tarayıcı gibi görüntü algılayan cihazlar veya gürültülü iletim ortamları gibi sebeplerden ortaya çıkan bir durumdur. Sayısal ortama taşınmış görüntünün gürültüden ayrıştırılabilmesi için gürültü özelliklerine bağlı olarak belirlenen sayısal filtreler kullanılır. Bu işlemin etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için uygun filtre parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Sabit katsayılı filtreler genelde durağan gürültü karakteristikleri ile iyi başarımlar sağlar. Uygulamada birçok durumda karşılaşılan değişen karakteristiklere sahip gürültüyü ayrıştırmak için genelde filtre katsayılarını filtreleme anında değiştirebilen adaptif filtreler kullanılır [1 ve 2]. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi TDLMS algoritmasının kullanıldığı adaptif görüntü gürültü filtresidir [3]. Kolay uygulama yapısına sahip bu yöntem tek boyutlu LMS algoritmasının iki boyutlu sinyaller için türetilmesiyle geliştirilmiştir. TDLMS yönteminin uygulamada sağladığı basitlik ve başarımlar sonucu yöntem ile ilişkili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [4, 5, 6, 7 ve 8]. Bu yöntemin kullanıldığı filtreleme işleminde kontrol parametresi olarak gürültülü ve istenen görüntünün farkından elde edilen hata değişkeni kullanılır. Hata sinyalinin aldığı değerle ilişkili bir şekilde filtre katsayılarının değerleri her bir pikselin filtrelenmesi sırasında tekrar belirlenir. Bu sayede gürültü karakteristiklerine bağlı olarak filtrenin davranışı sürekli bir biçimde değiştirilmiş olur. Değişimin şiddeti bir sabit çarpan kullanılarak kontrol edilir ve bu sabit adım büyüklüğü ya da öğrenme katsayısı olarak adlandırılır. Atanan değerlerin büyüklüğüne bağlı olarak filtrenin tepkisini değiştirmede kullanılır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Gerçekleştirilen çalışmada görüntü filtrelemede başvuru TDLMS tabanlı gürültü filtresinin analizi için bir kullanıcı arayüzü geliştirilerek filtre parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Filtre yapısı olarak pratikte sıklıkla başvuru sonlu dürtü cevabına sahip FIR (Finite Impulse Response) filtre yapısı kullanılmıştır. Java platformu ile gerçekleştirilen arayüzde adım büyüklüğü, filtre maske boyutları ve gürültünün şiddeti gibi faktörlerin filtreleme kalitesine etkisi incelenebilmektedir. Elde edilen sonuçların kalitesi filtrelenmiş görüntü ile gürültülü görüntü üzerinden değerlendirilmesinin yanında matematiksel karşılaştırma ile PSNR cinsinden (Peak Signal to Noise Ratio) hesaplanmıştır.

## 3. ADAPTİF TDLMS GÖRÜNTÜ GÜRÜLTÜ FİLTRESİ (ADAPTIVE TDLMS IMAGE NOISE FILTER)

TDLMS yönteminin uygulamasında kontrol edilen filtre yapısı olarak 2D FIR (iki boyutlu sonlu dürtü cevabı) filtre yapısı kullanılmıştır. Doğrusal ve nedensel 2D FIR filtrenin giriş-çıkış ilişkisi aşağıdaki konvolüsyon işlemi ile tanımlanır [9].

$$y(m,n) = \sum_{p=0}^{N-1} \sum_{q=0}^{N-1} w(p,q)x(m-p,n-q) \quad (1)$$

Konvolüsyon işleminde, kullanılan döngülerden görüldüğü gibi görüntüyü tanımlayan  $\mathbf{x}$  değişkeninden seçilen  $N \times N$  boyutlu matrisin pikselleri tanımlayan elemanları her birine karşılık gelen  $N \times N$  boyutlu  $w$  matrisi ile karşılıklı olarak çarpılır. Elde edilen değerler toplanarak filtrelenmiş pikselin  $m,n$  koordinatlarındaki pikselini oluşturur. Herhangi bir  $m,n$  değeri için  $\mathbf{x}$  görüntüsünden seçilen  $N \times N$

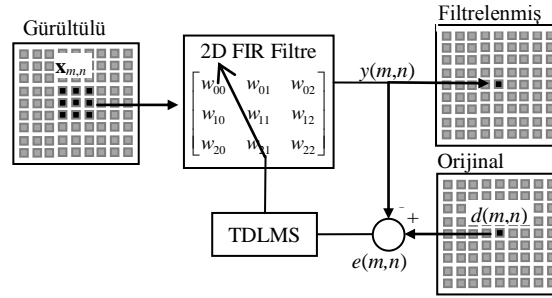
boyutlu matris  $\mathbf{x}_{m,n}$  olarak tanımlanarak Denklem 1 tekrar düzenlenirse daha kısa formda Denklem 2'deki gibi ifade edilebilir,

$$y(m,n) = \sum \mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_{m,n} \quad (2)$$

Burada,  $\cdot$  operatörü çarpımı matrisin karşılıklı elemanları arasında olduğunu göstermektedir ve  $\mathbf{x}_{m,n}$  ve  $\mathbf{w}$  matrisleri Denklem 3'de verilen formda tanımlanabilir.

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_{0,0} & w_{0,1} & \cdots & w_{0,N-1} \\ w_{1,0} & w_{1,1} & \cdots & w_{1,N-1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_{N-1,0} & w_{N-1,1} & \cdots & w_{N-1,N-1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_{m,n} = \begin{bmatrix} x_{m,n} & x_{m,n-1} & \cdots & x_{m,n-N+1} \\ x_{m-1,n} & x_{m-1,n-1} & \cdots & x_{m-1,n-N+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m-N+1,n} & x_{m-N+1,n-1} & \cdots & x_{m-N+1,n-N+1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adaptif TDLMS yönteminde  $\mathbf{w}$  ile tanımlanan filtre katsayıları matrisi filtreleme anında istenilen ve gürültülü pikseller arasındaki farktan elde edilen hataya bağlı olarak değiştirilir. Bu işlem  $3 \times 3$  boyutlu filtre katsayıları için Şekil 1'de verilen blok diyagram olarak ifade edilmiştir. Filtrelenmiş görüntüdeki bir pikseli belirlemek için giriş sinyalinden alınan  $3 \times 3$  boyutlu matris 2D FIR filtreye uygulanır. Elde edilen piksel filtrelenmiş piksel olarak kaydedilir ve aynı zamanda orijinal görüntünün ilgili pikseli ile karşılaştırılarak oluşan hata miktarı belirlenir. Bir sonraki pikselin filtrelenmesi başlamadan önce filtrenin katsayıları oluşan hata miktarına göre TDLMS algoritması ile tekrar hesaplanır.



Şekil 1. Adaptif görüntü gürültü filtresinin temel çalışma prensibi  
(Figure 1. The basic working principle of adaptive image noise filter)

TDLMS algoritmasında kontrol parametresi olarak kullanılan hata miktarı  $j$  numaralı iterasyonda Denklem 4'de görüldüğü gibi orijinal piksel ile gürültülü pikselin farkı olarak hesaplanır.

$$e_j = d(m,n) - y(m,n) \quad (4)$$

Gürültüsüz pikselin gerçek değeri bilinmeyeceği için yaklaşım teknikleri ile tahmin edilir. Bu amaçla İki Boyutlu Adaptif Hat Zenginleştirici (Adaptive Line Enhancer-ALE) yaklaşımı kullanılır[3]. Bu yöntemde hata sinyali hesaplanan piksel değeri ile gezdirilen katsayı çerçevesi dışındaki komşu bir pikselin farkı olarak belirlenir ve hesaplamaları bu şekilde gerçekleştirilir. Bundan dolayı algoritmanın uygulanmasında orijinal resim hakkında herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmaz. Gradyant tabanlı bir yöntem olan TDLMS, gradyant değerini hesaplamak için hata değişkeninin karesini kullanır. Sert iniş (steepest descent) yöntemine dayanarak TDLMS yönteminde kullanılan katsayı yenileme fonksiyonu denklem 5'de görüldüğü gibi tanımlanır.

$$\mathbf{w}_{j+1} = \mathbf{w}_j + \mu \mathbf{g} \quad (5)$$

Burada sıradaki pikselin filtrelenmesi için kullanılacak yeni katsayı değerleri  $\mathbf{w}^{yeni}$  değişkeniyle, mevcut katsayı değerleri  $\mathbf{w}^{eski}$  değişkeniyle, gradyant değeri  $\mathbf{g}$  ve adım büyüklüğü  $\mu$  ile tanımlanmıştır. Bu ifadeye göre katsayı değerleri, gradyant ve adım büyüklüğünün çarpımı miktarına bağlı olarak değiştirilerek yeni katsayılar belirlenir. Gradyant değeri denklem 6'dan görüldüğü gibi karesel hata fonksiyonunun katsayılarına göre türevinin alınmasıyla elde edilir.

$$\mathbf{g} = \left. \frac{de_j^2}{d\mathbf{w}} \right|_{\mathbf{w}=\mathbf{w}_j} = 2e_j \left. \frac{\partial e_j}{\partial \mathbf{w}} \right|_{\mathbf{w}=\mathbf{w}_j} = -2e_j \mathbf{x}_{m,n} \quad (6)$$

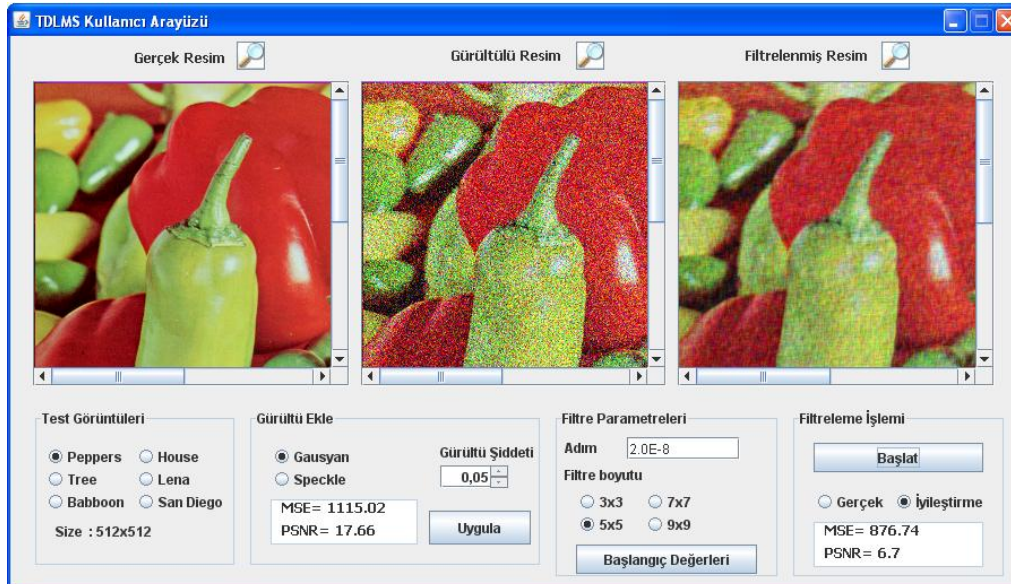
Gradyanta ait ifade katsayı yenileme denkleminde yerine konulursa, denklem 5'de verilen hataya bağımlı yenilemeli takip ifadesi denklem 7'deki gibi elde edilir[3].

$$\mathbf{w}_{j+1} = \mathbf{w}_j - 2\mu e_j \mathbf{x}_{m,n} \quad (7)$$

Burada adım büyüklüğü olarak tanımlanan sabitin değeri filtrenin takip duyarlılığını kontrol ederek filtreleme kalitesini değiştirmek için kullanılır. Bu katsayının filtreleme kalitesi üzerindeki etkisi Bölüm 4'de örnekler üzerinde sunulmuştur.

#### 4. GRAFİKSEL KULLANICI ARAYÜZÜ (GRAPHICAL USER INTERFACE)

Makale sonuçlarının elde edilmesi Şekil 2'de görülen GUI (Grafiksel Kullanıcı Arayüzü), Netbeans geliştirme ortamı kullanılarak Java platformunda gerçekleştirilmiştir. Bu sayede algoritmanın başarımını belirleyen adım büyüklüğü, filtre boyutu, gürültü çeşidi ve şiddeti gibi bazı parametrelerin etkisinin GUI üzerinden incelenmesi mümkün kılınmıştır. GUI üzerinde görüldüğü gibi orijinal resim, gürültülü resim ve filtrelenmiş resim aynı anda karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Böylece tanımlanmış analiz parametrelerinin etkisi incelenebilir.



Şekil 2. Adaptif görüntü filtreleme uygulaması için Java tabanlı GUI (Figure 2. Java based GUI for adaptive image filtering applications)

GUI kullanılarak bir analiz işlemi gerçekleştirilirken kullanılacak orijinal resim seçildikten sonra Gürültü panelinden gürültü tipi Gaussian, ya da speckle olarak belirlenmesi ve şiddetinin değiştirilmesi mümkündür. Gaussian gürültü için random sayı *Random* sınıfının *nextGaussian* yöntemi ile elde edilirken Speckle gürültüsü için eşit dağıtılmış random sayı üreten *nextFloat* yöntemi ile elde edilmiştir. Uygulanan gürültü seviyesinin filtreleme sonrası ne derece azaldığı görsel olarak karşılaştırma yanında hesaplama yaklaşımıyla da belirlenebilir. Yaygın olarak kullanılan kalite değerlendirme yöntemleri Gürültü Ekle panelinde tanımlanmıştır. Tablo 2'den verilen matematiksel ifadelerden görüldüğü gibi MSE (Mean Square Error) olarak tanımlanan birim kare hata, orijinal görüntü ile filtrelenmiş görüntü arasındaki farkların karesinden hesaplanır. Bunun yanında tepe sinyal gürültü oranı olarak adlandırılan PSNR (Peak Signal Noise Ratio) değeri ise pikselin alabileceği üst değer MSE'ye bölümünden çıkan sonucun logaritmik fonksiyona uygulanmasıyla elde edilen değer dB cinsinden gösterimdir.

Tablo 1. Kalite ölçülendirme yöntemleri  
(Table 1. Quality measurement methods)

Yöntem	Matematiksel İfade
MSE	$\frac{1}{MN} \sum_{n_1=0}^{M-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} (d(n_1, n_2) - x(n_1, n_2))^2$
PSNR	$10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right)$

Filtre parametreleri paneli kullanılarak adım büyüklüğü, filtre maskesi büyüklüğü ve başlangıç değerlerinin etkisi incelenebilir. Şekil 3'de Başlangıç Değerleri butonu ile açılan pencere görülmektedir. Güncelleme denkleminin ilk iterasyonunda kullanılan başlangıç değerlerinin doğru seçimi filtre katsayılarının yankınmasını hızlandırır. Başlangıç değerleri birim, gaussian, random ve sıfır başlangıç değerleri yanında önceki filtreleme işleminde kullanılan son katsayı değerleri de başlangıç değerleri olarak kullanılabilir.

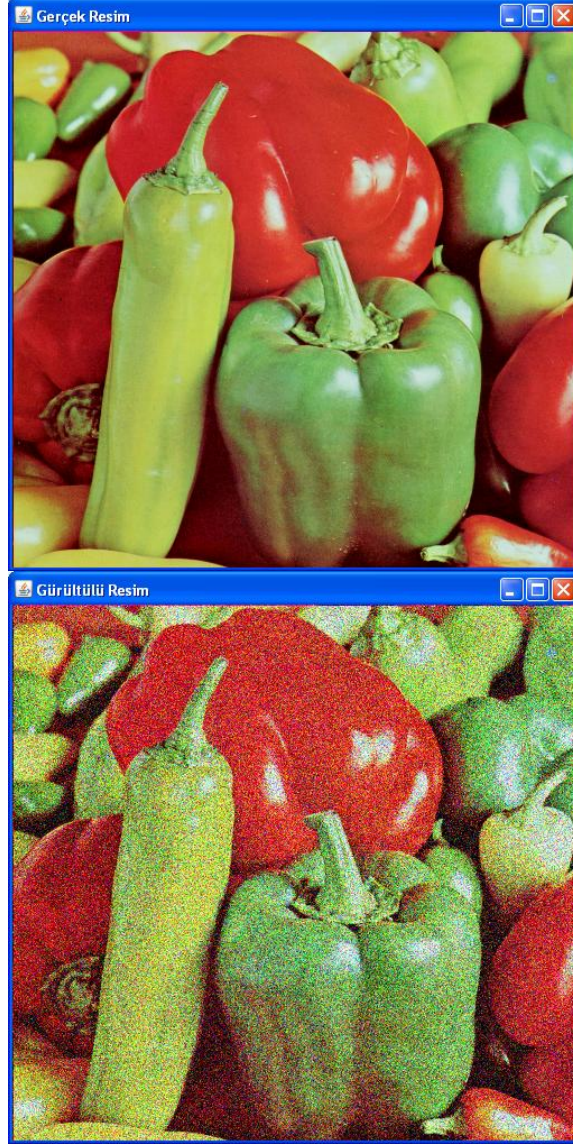


Şekil 3. Filtre katsayıları için Başlangıç Değerleri penceresi  
(Figure 3. Window of Initial Values for filter coefficients)

Filtre panelinde filtrele butonu adaptif filtreleme işlemi başlatır ve tanımlanmış parametreler için gürültülü resmi filtreleyerek sonucu görüntüler. Panel üzerinde elde edilen resme ait filtreleme başarımları da MSE ve PSNR değerleri cinsinden gerçek değer ya da iyileştirme miktarı şeklinde görüntülenir.

##### 5. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Adaptif filtrenin başarımı kullanılan adım büyüklüğü ve filtre boyutu ile yakından ilişkilidir. Bunun yanında elde edilen sonucun kararlı durumda çalışan filtre parametreleri ile belirlenmiş olması da önemlidir. Başlangıç değerlerinin ve adım büyüklüğünün etkisinin göstermek amacıyla Şekil 4a'da verilen gürültüsüz gerçek resmi Şekil 4b'de görüldüğü gibi gausyan gürültülü olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.a)Gerçek resim (Peppers 512x512) b)Gürültülü resim PSNR=20.28 dB

(Figure 4.a) Original image (Peppers 512x512) b)Noisy image PSNR=20.28 dB)



Şekil 5. Sıfır başlangıç değerleri kullanarak filtre cevapları a)  $\mu=1.0e-10$ , iyileştirme: PSNR=-4.23dB ve b)  $\mu=5.0e-9$ , iyileştirme: PSNR=5.17dB

(Figure 5. Filter responses for zero initial values a)  $\mu=1.0e-10$ , improvement: PSNR=-4.23dB and b)  $\mu=5.0e-9$ , improvement: PSNR=5.17dB)

Test resmini sıfır başlangıç değerleri ve  $\mu=1.0e-10$  adım büyüklüğü için filtreleme işlemine tabi tutulduğunda Şekil 5a'da görülen görüntü elde edilmiştir. Filtreleme sonucu katsayıların oldukça yavaş yakınsadığı, oluşan karanlık bölgenin yavaş değişimi ile gözükmemektedir. Adım büyüklüğü  $\mu=5.0e-9$  olarak artırılarak filtreleme işlemi tekrar gerçekleştirilirse bu durumda Şekil 5b'de görüldüğü gibi örneğimizde geçici davranışı belirten karanlık bölge ilk birkaç satırda kaybolmuştur. Eğer kararlı durumdaki başlangıç değerleri kullanılarak filtreleme işlemi tekrarlanırsa geçici durumların etkisi azaltılarak filtreleme kalitesi artırılabilir. Tablo 2'de farklı adım büyüklükleri için, sıfır başlangıç değerlerinin kullanıldığı ve sonraki filtreleme işlemlerinde bir önceki filtrelemede en son

hesaplanan filtre katsayılarının kullanıldığı deneysel sonuçlar verilmiştir. Burada kullanılan adım büyüklüğünün artması geçici durumların ortadan kalmasını hızlandırmakla birlikte kaliteyi de bir miktar artırmıştır.

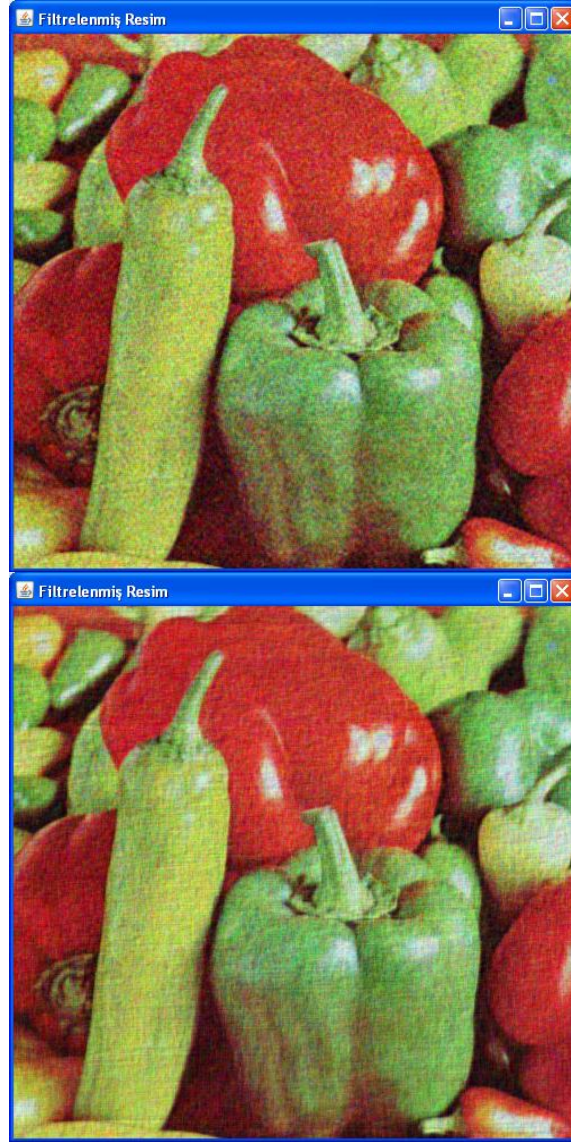
Tablo 2. Sıfır başlangıç değerleri için ardışıl filtreleme başarımı  
(filtre boyutu: 3x3, PSNR=18.48dB)

(Table 2. Sequential filtering performance for zero initial values  
(filter size 3x3, PSNR=18.48dB))

Adım Büyüklüğü	Ardışıl filtreleme ile iyileştirme başarımı (PSNR)		
	1	2	3
$\mu=1.0e-10$	-4.23	5.67	5.74
$\mu=1.0e-9$	2.91	5.98	6.06
$\mu=1.0e-8$	5.60	6.13	6.13

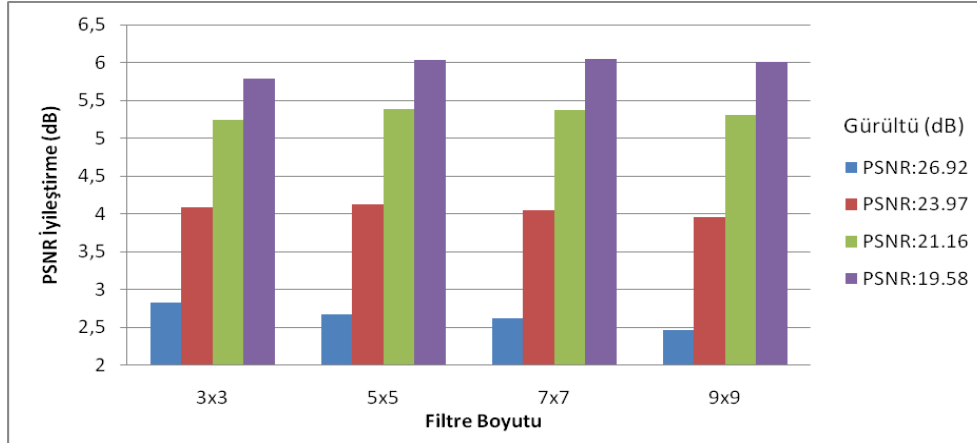
Eğer adım büyüklüğü sıfır olarak seçilirse katsayılar filtreleme anında değişmeyeceği için değerleri başlangıç değerleri tarafından belirlenmiş olan filtre sabit katsayılı filtre olarak çalışır. Adım büyüklüğü filtre tepkisini değiştirmede dolayısıyla filtreleme kalitesini değiştirmede etkilidir. Bunun yanında etkili olan diğer bir parametre filtre boyutudur. Şekil 6a ve 6b'de 3x3 ve 9x9 filtre boyutları için elde edilen filtreleme sonuçları verilmiştir. PSNR değerleri 3x3 filtre için 6.13dB ve 9x9 filtre için 6.40dB olarak elde edilmiştir.





Şekil 6. Filtre boyutuna bağlı sonuçlar ( $\mu = 1.0e-8$  PSNR=18.48dB) a) filtre boyutu:3x3, iyileştirme: PSNR=6.13dB b) filtre boyutu:9x9, iyileştirme: PSNR=6.40dB  
(Figure 6. Filtering results for a) filter size:3x3, improvement: PSNR=6.13dB b) filter size:9x9, improvement: PSNR=6.40dB where  $\mu = 1.0e-8$  PSNR=18.48dB)

Şekil 6 ile verilen filtreleme sonuçlarının başarımlarının değerleri arasındaki fark sayısal olarak küçük olmasına karşın 9x9 filtre için elde edilen sonuç incelendiğinde gürültüleri daha iyi bir şekilde ortadan kaldırdığı görülmektedir. Farklı filtre boyutları ve gürültü seviyeleri için başarımların grafiksel değişimine deneysel sonuçlar Şekil 7 verilmiştir. Filtre boyutunun başarıma etkisinin gürültü seviyesine bağlı değiştiği açıkça görülmektedir. Yüksek gürültü seviyesi (19.58dB) için filtre boyutu arttıkça başarımlar artarken, düşük gürültü seviyesi (26.92dB) için filtre boyutunun artması başarımları azaltma yönünde etkilemiştir.



Şekil 7. Peppers test resmi için gürültü seviyesi ve filtre boyutuna bağlı filtreleme başarımları  
(Figure 7. Filtering performances versus noise level and filter size for Peppers image)

## 6. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Sunulan çalışmada adaptif TDMS yönteminin bir uygulaması gerçekleştirilerek sağladığı başarımlar farklı adım büyüklükleri ve filtre boyutları açısından incelenmiştir. Filtrenin adapte olma duyarlılığını direkt olarak değiştiren adım büyüklüğünün farklı değerleri için elde edilen sonuçlar ile filtrenin davranışına etkisi deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. Başlangıçta katsayı değerlerinin tümü sıfır seçilse de oluşan hata miktarına göre katsayıların belirlenerek uygun değerlere doğru değişimi farklı adım büyüklükleri ile verilen örneklerde açıkça gözükmemektedir. Sıfır başlangıç değerleri için adım büyüklüğünün küçük seçildiği durumda filtre katsayıları kararlı duruma ulaşamadığı için filtrelemede istenen kalite sağlanamamıştır. Aynı şartlar altında adım büyüklüğü artırıldığı zaman geçici durumlar daha çabuk kaybolmakta ve filtrenin başarımları artmaktadır. Adım büyüklüğü ne kadar artırılsa artırılsın geçici durumlar az da olsa oluşur ve bundan dolayı filtreleme işleminin kararlı durum katsayıları ile tekrarlanması gerekir. Gerçekleştirilen arayüzde bu işlem için filtreleme işlemi sonucunda son elde edilen katsayılar kullanılarak filtreleme işlemi tekrar başlatılmıştır. Adım büyüklüğünün başka kullanılan filtre boyutunun etkisi de elde edilen sonuçlar üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Verilen örnek 3x3 ve 9x9 boyutlu filtre uygulamaları için PSNR değeri bakımından benzer başarımlar elde edilmiştir. Bununla birlikte verilmiş örnek için elde edilen görüntülerin kalitesi görsel olarak incelendiğinde büyük boyutlu filtrenin gürültüyü diğerine kıyasla daha belirgin bir şekilde ortadan kaldırdığı görülmektedir. Grafikselsel olarak elde edilen karşılaştırmalı sonuçlardan, için filtre boyutu arttıkça başarımlar artarken, düşük gürültü seviyesi için filtre boyutunun artması başarımları azaltma yönünde etkilediği görülmüştür.

## REFERENCES (KAYNAKLAR)

1. Widrow, B., Glover, J.R., McCool, J.M. Jr., Kaunitz, J., Williams, C.S., Hearn, R.H., Zeidler, J.R., Dong, E.Jr., and Goodlin, R.C., (1975). Adaptive Noise Cancelling: Principles and Applications, Proceedings of the IEEE, Volume: 63(12), pp: 1692-1716.

2. Diniz, P.S., (1997). Adaptive Filtering Algorithms and Practical Implementation, Kluwer Academic Publishers, Boston.
3. Hadhoud, M.M. and Thomas, D.W., (1988). The two-dimensional adaptive LMS (TDLMS) algorithm, IEEE Trans. Circuits Syst., Volume: 35, No:5, pp.485-494.
4. Ohki, M. and Hashiguchi, S., (1991). Two-dimensional LMS adaptive filters, Consumer Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 37, Issue: 1, pp.66 -73.
5. Lin, J.N., Nie, X., and Unbehauen, R., (1993). Two-dimensional LMS adaptive filter incorporating a local-mean estimator for image processing, Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on, Volume: 40 Issue: 7, pp: 417-428.
6. Azimi-Sadjadi, M.R. and Hongye, P., (1994). Two-dimensional block diagonal LMS adaptive filtering, Signal Processing, IEEE Transactions on, Volume: 42 Issue: 9, pp:2420 - 2429.
7. Abadi, M.S.E., Far, A.M., Ebrahimpour, R., and Kabir, E., (2005). Image Restoration Using Two Dimensional Fast Euclidean Direction Search Based Adaptive Algorithm, Advances in Soft Computing, Volume 29, pp:182-191.
8. Tae-Wuk, B., Young-Choon, K., Sang-Ho, A., and Kyu-Ik, S., (2010). A novel Two-Dimensional LMS (TDLMS) using sub-sampling mask and step-size index for small target detection, IEICE Electronics Express, Volume: 7, No:3, pp:112-117.
9. Rafael, C., and Gonzalez, R.E.W., (2008). Digital Image Processing, Prentice Hall