

# 3DRS Blok Karşılaştırma Algoritmasında Farklı Arama Teknikleri ile Performans Arttırımı

Münibe Şimşek Yıldırım<sup>1</sup>

Fatih Erdoğan Sevilgen<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli

<sup>1</sup>e-posta: simsek@bilmuh.gyte.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: sevilgen@bilmuh.gyte.edu.tr

## Özetçe

Video görüntülerinde cisimlerin hareketleri ile kamera efektleri görüntü kalitesini olumsuz yönde etkileyen önemli sorunlardır. Endüstriyel uygulamalarda TV/video görüntülerindeki hareket kaynaklı bozulmalar, 3 Boyutlu Özyineli Arama (3D Recursive Search – 3DRS) gibi yöntemler, kullanım basitlikleri ve hızları nedeniyle tercih edilen hareket telafi (Motion Compensation) tekniklerinin başında gelmektedir. Gerçek zamanlı çevrimiçi hareket telafisi uygulamalarında verilerin işleme girişi sırası 3DRS'te kullanılan arama yöntemi üzerinde bir kısıt oluşturarak algoritmanın performansını etkilemektedir. Bu çalışmada görüntü bilgilerinin tamamının işlem öncesinde mevcut olduğu kabulüne dayanan farklı arama yöntemleri kullanan 3DRS algoritmalarının çevrimdışı başarımları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda Hilbert Uzay Doldurma Eğrisi (Hilbert Space Filling Curve –HSF) kullanan 3DRS türevlerinin görüntülerde bulanıklığı azalttığı ve özellikle küçük hareketler içeren görüntülerde daha başarılı olduğu görülmüştür.

## 1. Giriş

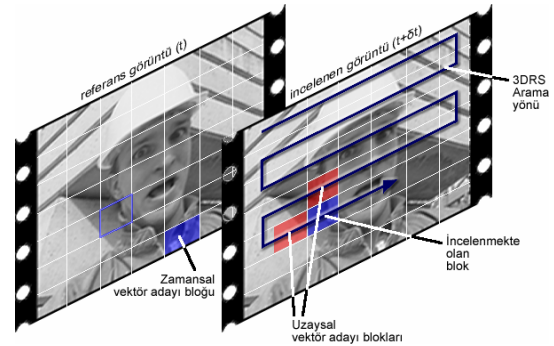
Multimedya görüntülerinde, hareketten kaynaklanan olumsuzlukların giderilmesi konusunda, kullanım amacına bağlı olarak farklı özellikleri sağlayabilecek şekilde geliştirilen bir çok yaklaşım bulunmaktadır. Video setlerinde, bir önceki görüntüden üzerinde işlem yapılan görüntü için en uygun bloğun bulunması temeline dayan, blok karşılaştırma tabanlı algoritmalar (Block Matching – BM) gerçek zamanlı uygulamalarda çalışma zamanının kısa olması önemli olduğu için tercih edilmektedirler. Endüstriyel uygulamalarda en sık kullanılan BM tabanlı algoritma objelerin bloklardan daha büyük boyutta ve ataletle sahip olduğu kabulünden yola çıkılarak geliştirilen 3DRS algoritmasıdır [1],[2]. 3DRS'te, arama işlemi, diğer BM yaklaşımlarından farklı olarak, arama alanı içerisindeki tüm olasılıkları incelemeyen. Arama alanı önceden hesaplanan hareket vektörleri kullanılarak sınırlandırılır ve böylelikle işleme hız kazandırılır. Bu vektörler incelenmekte olan blokla aynı karede olup inceleme yönüne bağlı olarak daha önce incelenmiş olan bloklara ait hareket vektörleridir. 3DRS algoritmasında kullanılan inceleme yönü yukarıdan aşağı ve soldan sağa olduğu için incelenmekte olan bloğun üst ve sol ya da sağ komşu vektörleri arama alanının sınırlarını belirler. Algoritmanın hızını arttıran bu yaklaşım aynı zamanda hareket modelleme performansını üzerinde kısıtlayıcı olmaktadır. 3DRS'in doğru hareket vektörlerine yakınsayabilme becerisi kullanılan tahmin vektörlerinin hareketi modelleyebilme becerileriyle doğrudan ilişkilidir.

Bu bağlamda, daha farklı yönlerdeki komşu vektörlerinin de işleme katılması ile gerçek harekete daha yakın vektörlerin elde edilmesi mümkün olabilir.

Bu çalışmada, daha doğru yakınsama sağlayabilmek amacıyla üç farklı blok tarama rotası kullanan 3DRS algoritması tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar orijinal 3DRS algoritması ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Makalenin ilerleyen kısımlarında 3DRS algoritması ve yapılan modifikasyonlar detaylı olarak açıklanmış ve bu algoritmaların standart test görüntü setleri üzerindeki başarımları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ise inceleme rotasındaki değişikliklerin doğru hareket kestirimine olan katkıları ortaya konmuştur.

## 2. 3DRS Algoritması

3DRS algoritması iki önemli varsayımdan yola çıkılarak geliştirilmiştir. Bunlardan ilki, objelerin incelemede kullanılan bloklardan daha büyük olmasıdır. Bu sayede incelenen bloğun hareketini tanımlayan en az bir komşu blok vektörü mevcuttur. İkinci varsayım objelerinin göreceli olarak atıl hareket ediyor olmalarıdır. Bu varsayıma göre incelenen görüntü kareleri arasındaki hareket küçüktür ve elde edilecek hareket vektörleri küçük değerlerle ifade edilebilir [3].



Şekil 1: 3DRS Algoritmasının arama yönü ve kullanılan hareket vektör aday blokları

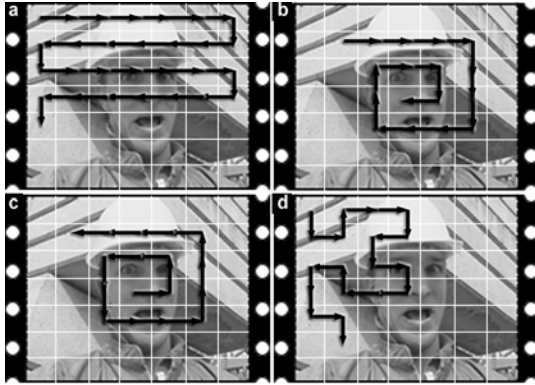
3DRS'te yakınsama işlemi iki uzaysal, bir zamansal olmak üzere iki farklı tipte toplam üç hareket vektör adayları kullanılarak gerçekleştirilir. Algoritmanın üç boyutlu olarak tanımlanması zaman bilgisini de göz önünde bulundurması nedeniyledir. Uzaysal vektör adayları incelenen görüntü üzerinde daha önceden vektörleri hesaplanmış bloklardan, zamansal vektör adayları ise bir önceki görüntü karesinden alınır (bkz. Şekil 1). Daha sonra uzaysal vektör adaylarına küçük sabit değerler eklenmesi ile elde edilen iki

güncelleme vektör adayıyla arama alanı genişletilir. Dört tanesi uzaysal, ikisi zamansal bu beş vektör adayının yakınsama dereceleri bir maliyet fonksiyonu kullanılarak ayrı ayrı hesaplanır. Maliyeti en düşük, yani hata miktarı en az olan vektör adayı incelenmekte olan bloğa ait hareket vektörü olarak seçilir.

3DRS algoritması her bir blok için yalnızca beş vektör adayı üzerinde inceleme yaparak hareket vektörünü belirlediği için diğer blok karşılaştırma algoritmalarından çok daha hızlı çalışmaktadır [2].

### 3. 3DRS Modifikasyonları

Video/TV görüntülerinde kullanılan 3DRS algoritmasında bloklar, video verilerinin elde edilme ve TV’lerde görüntülenme özelliklerine göre soldan sağa ve yukarıdan aşağı bir sıra takip edilerek incelenir (Şekil 1). Bu durum standart 3DRS’de kullanılabilir uzaysal aday sayısını, seçim yönünü ve aralığını sınırlandırır. 3DRS algoritmasının hesapsal performansı yakınsama hızı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle yakınsama hızını arttırmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [4]. Ancak bu iyileştirmeler görüntü kalitesinin artırılmasını ve hareketlerin doğru kestirilebilmesini garantilememektedir. Özellikle küçük ölçekli nesne ve hareketler içeren görüntülerde farklı yönlerde aday vektörlerinin kullanımı ve aday sayısının artırılması ile hareket kestirim başarımının artırılabilirliği düşünülmektedir. Bu amaçla 3DRS algoritmasında kullanılan inceleme için takip ettiği eğride değişiklikler yapılarak algoritmanın farklı türevleri geliştirilmiştir. Geliştirilen blok tarama yöntemleri, merkezden başlayan spiral inceleme, merkeze doğru spiral inceleme, HSF eğrisi kullanarak inceleme olarak tanımlanarak Şekil 2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2: Kullanılan inceleme adımları a) Standart 3DRS, b) Merkezi doğru ilerleyen spiral (S3DRS), c) Merkezden başlayan spiral (TS3DRS), d) Hilbert uzay doldurma eğrisi (H3DRS)

#### 3.1. Spiral İnceleme

Spiral inceleme alt karelere ayrılan görüntü üzerinde merkezden başlayan veya merkeze doğru ilerleyen spiral doğrultuda inceleme adımları takip edilmesine dayanır.

Merkezden başlayan spiral inceleme adımı kullanılan 3DRS algoritmasında köşe pozisyonundaki bloklar için 2, köşelerden bir önceki pozisyonlarda 3, diğer pozisyonlar için 4 farklı yönde uzaysal vektör adayı kullanılabilir. Merkeze doğru ilerleyen spiral inceleme adımları kullanılan 3DRS’de sınırlardaki bloklarda 1, diğer pozisyonlarda ise en az 4 farklı yönde uzaysal vektör adayı kullanılabilir.

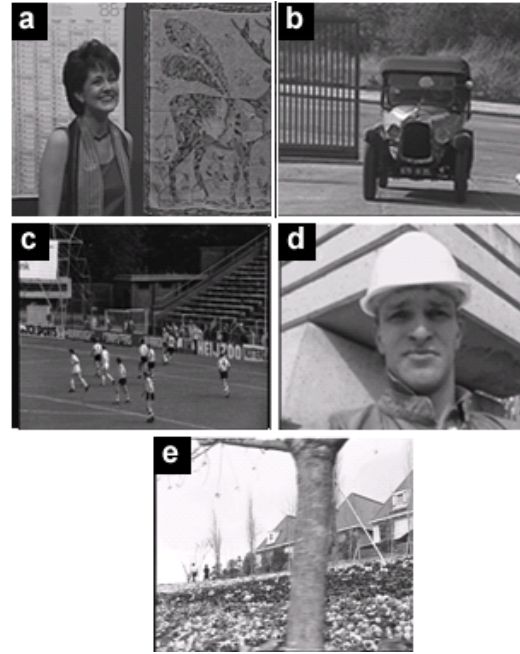
Multimedya verilerinde kullanılan 3DRS 2 uzaysal vektör adayı kullanır şekilde optimize edilmiştir. Fazla vektör adayı kullanımının performansa etkisi ile yöne bağlı performans değişimlerinin daha doğru değerlendirilebilmesi amacıyla spiral ve ters spiral algoritmalar sadece iki uzaysal vektör adayı kullanan (S3DRS ve TS3DRS) ve hesaplanmış tüm adayları kullanan (ES3DRS ve TES3DRS) olmak üzere iki farklı biçimde incelenmiştir.

İki vektör adayı kullanan algoritmalarda, adaylar standart 3DRS algoritmasının aday vektör elde etme yönleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Aday vektörler öncelikli olarak üst, sol yada sağ komşu bloktan, bu bloklarda hesaplama yapılmadığı durumlarda önce ana yönler sonra ara yönler olacak şekilde seçilmiştir.

Algoritmalarda, zamansal adaylar, uzaysal vektör adaylarına zıt yönlerde ve iki birim uzaklıkta olacak şekilde seçilmiştir.

#### 3.2. HSF Kullanarak İnceleme

David Hilbert tarafından geliştirilen HSF, boyutları ikinin kuvvetleri olan bir karenin tüm noktalarından geçen eğriyi matematiksel olarak bulan bir algoritmadır ve görüntü sıkıştırma başta olmak üzere bir çok görüntü işleme yönteminde kullanılmaktadır [5]. HSF algoritması ile köşe pozisyonlar haricindeki bloklarda en az 4 uzaysal vektör kullanımı mümkün olabilmekte, bazı bloklar için bu sayı 6’ya çıkabilmektedir.



Şekil 3: Standart video görüntüleri a) Renata, b) Cargate, c) Football, d) Foreman, e) Flower.

	Boyut	Kare Sayısı	Renk	Derinlik	Frekans	Format	Baskın Hareket Özelliği
<b>Renata</b>	720x576	30	YUV422	8 Bit	24 fps	Progressive	Karmaşık ve periyodik arkaplan, küçük kamera hareketleri ve hale efekti (halo effect)
<b>Cargate</b>	720x576	30	YUV422	8 Bit	24 fps	Progressive	Periyodik yapıya sahip nesnelere ve küçük obje hareketleri
<b>Football</b>	720x576	30	YUV422	8 Bit	50 fps	Progressive	Hızlı hareket eden nesnelere ve ani kamera yakınlaştırma-uzaklaştırma hareketi
<b>Foreman</b>	720x576	400	YUV422	8 Bit	25 fps	Progressive	Yakın plan yüz hareketleri ve periyodik sayılabilecek hareketsiz arka plan
<b>Flower</b>	720x576	124	YUV422	8 Bit	50 fps	Interlaced	Hızlı yatay kamera hareketi ve gerçek renk değerlerine sahip düzensiz, detaylı içerik

Tablo 1. Video görüntülerinin özellikleri

Spiral inceleme alanlı yaklaşımlarda olduğu gibi bu yaklaşımda da iki farklı şekilde kullanılmıştır. Bunlardan ilki sadece iki tane uzaysal vektör adayının kullanıldığı H3DRS, diğeri ise mümkün olan tüm hesaplanmış adayları kullanan EH3DRS'tir. Zamansal vektör adayları ise spiral inceleme alanlı 3DRS algoritmaları ile aynı şekilde belirlenmiştir.

#### 4. Uygulamalar

Bu kısımda, önceki bölümlerde anlatılan 3DRS türevlerinin literatürde kullanımları standart haline gelmiş video görüntüleri (bkz Şekil 3) üzerinde uygulamaları anlatılmıştır.

Algoritmaların başarımları, hareket kestirim ve telafi algoritmalarının performans analizlerinde sıkça kullanılan ortalama karesel hata (mean square error – MSE), değiştirilmiş MSE (modified MSE - M2SE) ve piksel içi tutarsızlık (subpixel inconsistency – SI) kriterleri kullanılarak belirlenmiştir [2].

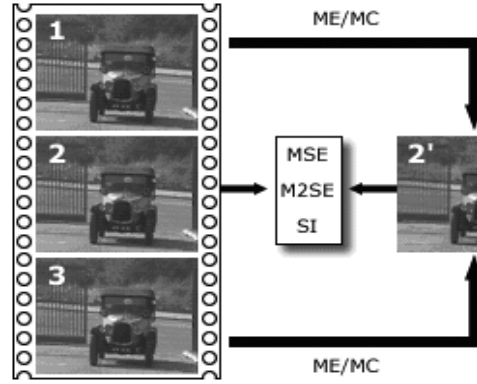
MSE değeri, hesaplanmış görüntü ile orijinal görüntünün piksel değerlerinin ortalama karesel hatalarının hesaplanması ile elde edilir. Kestirim yönteminin başarısı MSE değeri ile ters orantılıdır.

M2SE kriteri ise, hesaplanan vektörle gerçekleştirilen hareket kestiriminin kalitesini belirler ve hesaplanan vektörlerin gerçek hareketle ne kadar uyumlu olduğunu ölçer. M2SE hesaplanırken hareket vektörlerinin belirlenmesinde kullanılan iki görüntünün arasında, elde edilen vektörler yardımıyla yeni bir görüntü oluşturulur. Hesaplanan görüntüdeki piksel yoğunluk değerleri orijinal ara görüntü piksellerinin yoğunluklarıyla karşılaştırılarak M2SE değerleri elde edilir. İyi bir hareket kestirim algoritmasının düşük M2SE değerleri elde etmesi beklenir.

SI kriteri de, M2SE gibi vektörlerin çevreleri ile tutarlılıklarının değerlendirilmesinde kullanılır. SI değeri, herbir vektörün komşu vektörler ile arasındaki farkların ortalaması hesaplanarak elde edilir. Bu kriter tek başına algoritma başarımlarını belirleyemez. Ancak birbirine çok yakın MSE ve M2SE değerlerine sahip iki algoritmadan SI değeri küçük olanı daha iyi olduğu varsayılabilir.

Şekil 3'te ilk kareleri görülen 5 test görüntü setinin baskın hareket ve/veya içerik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Geliştirilen 3DRS versiyonları test edilirken görüntü serisindeki tek sayılı sıra numarasına sahip görüntüler kullanılarak, çift sayılı ara görüntüler için hareket vektörleri

hesaplanmıştır. Başarım değerlendirmeleri, hesaplanan görüntüler ile çift sıra numaralı orijinal görüntülerin karşılaştırılmasıyla yapılmıştır (bkz. Şekil 4).



Şekil 4. Algoritmaların başarımlarının değerlendirilmesi amacıyla ara görüntü oluşturma

##### 4.1. MSE Değerlendirmesi

Algoritmaların standart 3DRS'e göre ne oranda başarılı ya da başarısız oldukları MSE farkları baz alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen MSE değerleri ile standart 3DRS'in MSE değerlerinin farkı, 3DRS MSE değerlerine oranlanarak yüzdelik ölçüğe yerleştirilmiştir;

$$100 \times \frac{MSE_{3DRS}^{standard} - MSE_{3DRS}^{modified}}{MSE_{3DRS}^{standard}} \quad (1)$$

Tablo 2'de algoritmaların ortalama yüzdelik performansları gösterilmiştir.

Algoritmaların genel MSE performanslarının tüm görüntü serileri için benzer olduğu, ufak farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Football ve Flower gibi, ayrıntılı ve hızlı nesne hareketinin bulunduğu görüntü serilerinde EH3DRS



Şekil 5. HSF algoritmalarının daha düşük MSE değerlerine sahip olduğu tahmin görüntüleri

algoritması biraz daha düşük MSE değerleri elde etmektedir. Ayrıca, Foreman görüntüsünün hızlı devinim ve kamera kayması olan görüntü karelerinde de EH3DRS algoritmasının daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Foreman video görüntü parçasında mimik hareketleri ön plandadır. Hareket özellikle dudak ve göz bölgesinde görülmektedir. Konuşma esnasında sınırlı bölgede fakat hızlı hareket görülür. Bu durum birbirini takip eden iki görüntü karesi arasında bile bariz farklılıklara neden olur. Algoritmalar, bu denli hızlı devinimleri yakalamakta güçlük çekeceği için tahmin görüntüsü ile orjinal görüntü arasında belirgin farklılıklar görülür.

Bu seride hem görsel hem de MSE değerleri olarak EH3DRS, yerelliği koruyabildiği için, başarılı olmuştur. Ayrıca, H3DRS algoritmasının MSE ortalaması da EH3DRS çok yakın bir değer elde etmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'de bu iki algoritma ile elde edilen tahmin görüntüleri yer almaktadır. Şekil 7' de, HSF tabanlı algoritmaların MSE değerleri ile standart algoritma ile elde edilen MSE değeri arasındaki farkın en yüksek olduğu tahmin görüntüleri bulunmaktadır. Bu görüntü karesinde her iki algoritma da 3DRS'e göre %30 daha düşük MSE değerleri elde etmiştir. Bu başarımlar görsel sonuçlara da yansımaktadır. Şekil 8' de ise algoritmaların MSE değerleri arasında ufak farklılıkların görüldüğü bir görüntü karesi yer almaktadır. Bu görüntüde EH3DRS algoritması ile elde edilen tahmin görüntüsünün çok daha net olması ve özellikle göz bölgesinde bulanıklaşmanın neredeyse hiç bulunmaması dikkat çekmektedir. HSF algoritmalarının, özellikle EH3DRS'in, tüm test serilerinde en kötü MSE değerleri elde ettiği görüntü tahminlerinde bile görsel olarak en az 3DRS kadar düzgün sonuçlar oluşturduğu görülmüştür.

Spiral araştırma alanı kullanan 3DRS algoritmaları hemen hemen tüm görüntü serilerinde yüksek MSE değerleri ile

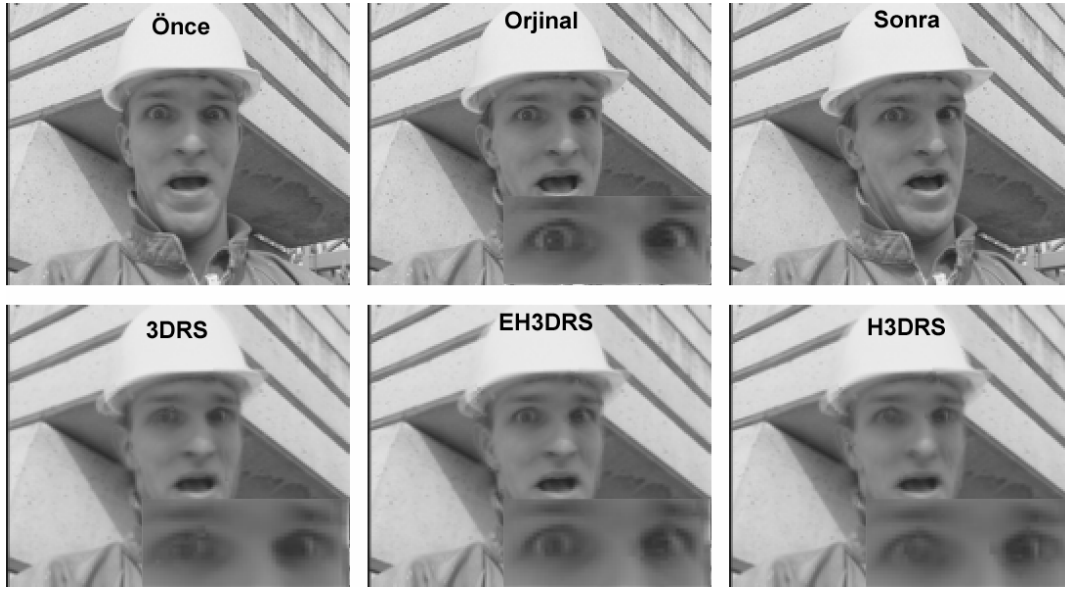
	S3DRS	TS3DRS	ES3DRS	TES3DRS	H3DRS	HE3DRS
<b>Renata</b>	1.40	2.25	0.89	1.35	-0.02	0.40
<b>Cargate</b>	1.32	1.28	-0.84	1.20	-2.70	-2.62
<b>Football</b>	16.97	-0.84	16.65	2.11	1.70	-0.98
<b>Foreman</b>	52.76	1.20	42.85	-3.25	-5.54	-6.41
<b>Flower</b>	3.90	-2.70	4.08	-1.16	0.53	-2.13
<b>Genel Ortalama</b>	15.27	-2.62	12.72	0.05	-1.21	-2.35

Tablo 2. Algoritmaların ortalama MSE başarımları. Değerler standart 3DRS sonuçlarına göre % farkı göstermektedir.

başlayıp düşük değerlere hızla yakınsama yapmışlardır, ancak elde edilen genel sonuçlar standart 3DRS algoritmasının üzerinde kalmıştır. Özellikle merkezden başlayan spiral inceleme alanlı algoritmalarda yüksek MSE değerleri elde edilmiştir.

Ortalama yüzde başarımları dikkate alındığında, özellikle Foreman video parçasında S3DRS ve ES3DRS algoritmaları 3DRS ile elde edilen değerlerden %40 - %50 daha yüksek MSE elde etmişlerdir (Bkz. Tablo 2.). Bu durum, inceleme yönünün gerçek hareket yönüyle uyumsuz olmasının bir sonucudur. Uzaysal vektör aday sayısında yapılan artış da sonucu değiştirmemiştir. İnceleme yönünün merkeze doğru ilerleyecek şekilde değiştirilmesi ile MSE değerlerinde düşüş sağlanmıştır. Uzaysal vektör aday sayısının artırılması MSE değerini biraz daha azaltmış olsa da spiral





Şekil 6. Yakın MSE değerlerine sahip tahmin görüntüleri

araştırma alanlı algoritmalar standart 3DRS performansını yakalayamamıştır.

HSF tabanlı algoritmalar ise genellikle standart algoritmayla aynı ya da ufak farkla daha düşük MSE değerleri yakalamıştır. Tüm serilerde EH3DRS, H3DRS ve TES3DRS çok yakın ortalama MSE başarımlarını takip etmişler, özellikle Foreman serisinde 3DRS algoritmasına oranla biraz daha düşük değerler sunmuşlardır.

Öte yandan, HSF algoritmaları görüntü hareketi ile uyumlu adayların seçilebilmesine imkan sağlamaktadır. Üretilen görüntü karelerinin bireysel MSE değerleri ve 3DRS'e göre yüzde farkları ( Bkz. Tablo 2) incelendiğinde, görüntüdeki hareket yönleriyle örtüşük arama yapabilme becerisinin, kullanılan vektör aday sayısının artırılmasından daha etkili olduğu görülmektedir. Yapılan testlerde, aday sayısının artırılmasının yada arama rotasının yönünde değişiklik yapılmasının video görüntü serilerinin MSE değerlerinde çok belirgin farklara sebep olmamakla beraber, görsel olarak olumlu sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

#### 4.2. M2SE Değerlendirmesi

M2SE görüntü kareleri arasındaki geçişin düzgünlüğünü değerlendirmek için geliştirilen bir kriterdir [2]. Dolayısıyla, vektör doğruluğunu anlamaya yönelik tek başına yeterli bir kriter değildir.

Algoritmaların elde ettikleri M2SE değerleri, Foreman görüntü serisi haricinde birbirine oldukça yakındır. Cargate ve Football videolarında geliştirilen algoritmaların çoğu M2SE sonuçları ve ortalama M2SE değerlerine bakıldığında standart 3DRS'den daha iyi sonuçlar elde ettiği ve kareler arasında daha yumuşak geçişler sağladığı görülmüştür. Flower ve Foreman serilerinde ise tüm algoritmaların performansları standart 3DRS algoritmasının altında kalmıştır. Football'da MSE değerleri olarak başarısız olarak öne çıkan S3DRS, ES3DRS ve TS3DRS algoritmaları, M2SE değerlendirmesinde 3DRS'e oranla çok daha iyi

	S3DRS	TS3DRS	ES3DRS	TES3DRS	H3DRS	HE3DRS
<b>Renata</b>	-2.31	-1.24	1.35	2.44	1.63	2.17
<b>Cargate</b>	0.04	-2.84	-1.92	-1.77	-1.04	-0.98
<b>Football</b>	-3.08	-4.07	-3.38	-2.46	-1.82	-2.39
<b>Foreman</b>	15.31	0.89	12.72	-0.22	0.70	-0.61
<b>Flower</b>	2.31	2.31	2.56	3.23	2.84	3.11
<b>Genel Ortalama</b>	2.45	-0.99	2.26	0.24	0.46	0.50

Tablo 3. Algoritmaların ortalama M2SE başarımları.

Değerler standart 3DRS sonuçlarına göre % farkı göstermektedir.

sonuçlar elde etmiştir. Özellikle TS3DRS algoritmasının, MSE değerleri olarak neredeyse tüm serilerde 3DRS'den daha kötü olmasına rağmen, M2SE başarımının yüksek olduğu dikkat çekmiştir. Renata görüntü parçasında algoritma MSE başarı ortalamaları 3DRS ile hemen hemen aynı olmasına rağmen M2SE değerleri ufak olumlu farklılıklar göstermektedir.

MSE başarımları yüksek olan HSF araştırma alanlı algoritmaların, M2SE değerlendirmesinde de başarımlarını dengeli bir biçimde arttırdıkları görülmektedir.

#### 4.3. SI Değerlendirmesi

Algoritmalar, son olarak SI kriterine göre incelenmiştir. Bu kriter tek başına karşılaştırma için yeterli olmamakla birlikte, MSE ve M2SE başarımları birbirine yakın olan algoritmaların nihai karşılaştırmasına katkı sağlayacaktır. Algoritmaların 3DRS'e göre yüzde başarı ortalamaları Tablo 4'te gösterilmiştir.

	S3DRS	TS3DRS	E3DRS	TES3DRS	H3DRS	HE3DRS
Renata	17.20	9.26	42.10	136.29	2.23	16.85
Cargate	4.21	-1.47	11.15	40.88	-3.73	7.94
Football	3.33	4.76	16.68	42.62	-3.66	11.83
Foreman	94.58	17.36	102.98	47.44	1.48	17.21
Flower	12.56	8.26	36.11	90.20	5.30	22.04
<b>Genel Ortalama</b>	26.38	7.63	41.80	71.49	0.32	15.17

Tablo 4. Algoritmaların ortalama SI başarımları. Değerler standart 3DRS sonuçlarına göre % farkı göstermektedir.

SI değerleri, hareket kestirimi yapılan görüntülerin özellikleri, içerdikleri nesnelere boyutları ve doku bilgilerine bağlı olarak değişir. Örneğin, Görüntü içerisindeki küçük objelerin hareketliliği komşu hareket vektörleri arasındaki uyumsuzluğu artırarak piksel içi tutarlılığı azaltacaktır. SI'nin algoritmaların başarımlarını farklılıklarını belirleyebilme özelliği, özellikle MSE ve M2SE değerleri yakın olan görüntüler incelendiğinde ortaya çıkmaktadır. Örneğin, Flower serisinde algoritmaların başarımları yaklaşık aynıdır. Bu video için elde edilen SI değerleri incelendiğinde, en başarılı algoritmanın H3DRS olduğu görülmektedir. Her ne kadar, tüm algoritmaların performanslarının 3DRS'e oranla daha düşük çıktığı gözlemlenmektedir. Foreman haricinde kullanılan görüntü serilerinin tamamında algoritma başarımlarının, MSE ve M2SE değerlendirmelerinin benzer şekilde yakın olduğu görülmektedir. Ortalama SI değerlerinde en dikkat çeken durum diğer kriterlerde iyiye yakın bir başarımlar gösteren TES3DRS algoritmasının oldukça yüksek tutarsızlık değerleri sergiliyor olmasıdır. Diğer değerlendirme sonuçlarına benzer şekilde Foreman serisinde S3DRS ve TS3DRS algoritmalarının 3DRS algoritmasına oranla kötü bir kestirim sergilediği görülmektedir.

Ayrıca, H3DRS ve TS3DRS algoritmalarının diğerlerine göre biraz daha tutarlı vektör alanları hesapladığı görülmüş, özellikle H3DRS algoritmasının başarımlarının tutarlılığının SI kriterinde de devam ettiği gözlemlenmiştir.

## 5. Tartışma

Bu çalışmada kullanılan algoritmalar orijinal 3DRS algoritmasının sadece arama yönünün değiştirilmesiyle geliştirilmiş, algoritmanın vektör aday seçimi ve güncelleme vektörlerinin oluşturulmasında kullandığı parametrelerde bir değişiklik yapılmamıştır. Parametreler ile inceleme yönü arasındaki olası uyumsuzlukların, hareket vektörlerinin seçimine etki ederek yol açması beklenebilecek bir durumdur. Farklı görüntü setlerinde yapılacak denemelerle standart 3DRS parametreleri optimize edildiğinde, modifiye algoritmaların olumsuzlukların

giderilmesi, doğruluk ve tutarlılık bakımından daha dengeli hale getirilmesi mümkün olabilecektir.

Video/TV sistemlerinde kullanılan görüntüler çok farklı hareket özelliklerine sahiptirler ve bu görüntüler üzerinde hareket kestirim teknikleri kullanım amacına bağlı olarak farklı beklentiler doğrultusunda uygulanırlar. Her görüntü parçasında mükemmel sonuç verebilen kestirim yöntemleri söz konusu değildir, her tekniğin kendine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle, farklı beklentilere göre kullanılacak inceleme yönünü seçebilen akıllı sistemler tasarlanması ile kalite artırımı sağlanması ilerki çalışmalar için ilgi çekici olabilir.

Hafıza ve işlemci kapasitelerinin hızlı gelişimi ile birlikte, 3 boyutlu görüntü sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar hız kazanmakta ve yakın gelecekte multimedya alanında 3. boyutun hayatımıza girmesine kesin gözüyle bakılmaktadır. Bu durumda kullanılan hareket kestirim algoritmalarının 3 boyutlu görüntüler üzerinde de çalışabilir olmasının önemini artırmaktadır.

HSF yöntemi 3 boyutlu sistemlere kolaylıkla adapte edilebilecek bir eğri uydurma algoritması olduğu için bu inceleme adımını kullanan 3DRS algoritmaları genişletilebilir özellik ve esneklik kazanmaktadır. İlerki çalışmalar, bu algoritmaların 3. boyuta uygulanmasını ve değerlendirilmesini içerebilir.

## 6. Sonuçlar

Genel olarak MSE, M2SE ve SI ortalamaları dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında, merkezden başlayan spiral inceleme alanı kullanan 3DRS algoritmaları haricinde birbirlerine çok yakın tutarlılık ve doğruluk sergilediği dikkat çekmektedir.

Merkezden başlayan spiral inceleme alanlı algoritmalar test setlerinin genelinde başarılı sonuçlar sunmamış, özellikle lokal bölgelerde gerçekleşen hızlı hareketlerin kestiriminde çok daha kötü bir başarımlar sergilediği belirlenmiştir.

Değerlendirme sonuçlarındaki ufak farklılıklar ve görsel veriler dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, HSF inceleme alanına sahip 3DRS algoritmalarının, 5 görüntü serisindeki genel ve bireysel başarımlarına göre, standart 3DRS algoritması ile elde edilen tahmin görüntülerinden daha yumuşak geçişe sahip, göz yoracak keskin hatlar içermeyen ve oldukça net ara görüntüler oluşturabildiği görülmektedir. Ayrıca ufak farklılıklarla da olsa doğru vektör haritası oluşturma konusunda HSF tabanlı algoritmalar daha yüksek başarımlar elde etmiştir.

Doğru vektör kestiriminde inceleme yönü ile gerçek hareket yönünün uyumlu olması ve SC sayısındaki artışın pozitif katkılar sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca SC sayısındaki artış tahmin görüntülerinde daha yumuşak geçişlere sahip hatlar oluşturulmasına da katkı sağlamaktadır.

Geliştirilen algoritmalar gerek çalışma zamanındaki artış gerek veri iletim doğrultusundaki uyumsuzluk nedeniyle gerçek zamanlı uygulamalarda optimal çözüm sunamamaktadırlar. Ancak, ayrıntıların önemli olduğu uygulamalar ile çevrimdışı görüntüler üzerinde HSF tabanlı algoritmalar, daha doğru vektör alanı ve oldukça başarılı görsel veri oluşturma kabiliyetleri nedeniyle tercih edilebilirler.

## 7. Kaynakça

- [1] G. de Haan, "Video format conversion", Journal of the SID, Vol. 8, no. 1, 2000, pp. 79-87.
- [2] G. de Haan and H. Huijgen, "Motion Estimation for TV Picture Enhancement", Signal Processing of HDTV, III, H. Yasuda and L. Chiariglione, eds. Elseviers Science Publishers B.V., 1992, pp. 241-248.
- [3] G. de Haan, P.W.A.C. Biezen, H. Huijgen, and O.A. Ojo, "True Motion Estimation with 3-D Recursive Search Block-Matching", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 3, 1993, pp. 368-379.
- [4] G. de Haan and P. Biezen, "Sub-pixel motion estimation with 3-D recursive search block-matching", Signal Processing: Image Communications 6, 1994, pp. 229-239.
- [5] Nelson Max, "Visualizing Hilbert Curves", Proceedings of IEEE Visualization '98, 1998.