

# Yüz Derinlik İmgelerinde GÜdümlü İniş Yöntemini Kullanarak Nirengi Noktası Bulma Facial Landmark Localization in Depth Images using Supervised Descent Method

Necati Cihan Camgöz  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Boğaziçi Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
cihan.camgoz@boun.edu.tr

Berk Gökberk  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
MEF Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
berk.gokberk@mef.edu.tr

Lale Akarun  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Boğaziçi Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
akarun@boun.edu.tr

**Özetçe** —Bu çalışmada 2B yüz imgelerinde en iyi başarıyı veren nirengi noktası bulma yöntemi olan GÜdümlü İniş Yöntemi'nin 3B yüz derinlik imgelerinde nirengi noktalarını bulmak için kullanılması önerilmektedir. Önerilen yöntemin başarıyı Bosphorus veritabanının örtüsüz cepheden imgelerinde sınamış ve mevcut en başarılı 3B yüz nirengileme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. GÜdümlü İniş Yönteminin eğitiminde 2B özniteliklerin kullanıldığı deneylerde, önerilen yöntem pek çok nirengi noktası için en yüksek başarıyı göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler**—güdümlü iniş yöntemi, 3B yüz imgelerinde nirengi noktası bulma, yüz derinlik imgeleri

**Abstract**—This paper proposes using the state of the art 2D facial landmark localization method, Supervised Descent Method (SDM), for facial landmark localization in 3D depth images. The proposed method was evaluated on frontal faces with no occlusion from the Bosphorus 3D Face Database. In the experiments, in which 2D features were used to train SDM, the proposed approach achieved state-of-the-art performance for several landmarks over the currently available 3D facial landmark localization methods.

**Keywords**—supervised descent method, 3D facial landmark localization, face depth images

## I. GİRİŞ

Yüz tanıma veya analizi için ilk adım, göz kenarı, burun ucu, ağız kenarı gibi nirengi noktalarının bulunmasıdır. Günümüzde çoğu yüz nirengi noktası bulma yöntemi 2B imgeler üzerinde çalışmaktadır. Poz ve ışıklandırma koşullarından daha az etkilenen 3B sistemlerde de nirengi noktalarının bulunması yüz analizi sistemlerinin başarımlarını artırabilmektedir. Yüz işlemede sık kullanılan nirengi noktaları kendilerine has yüzey ve geometrik yapıya sahip olan burun ucu, burun ucu kenarları, göz ve ağız kenarlarıdır.

Allyüz v.d. [1] 3B yüz imgelerinde eğrilik bilgilerinden faydalanarak burun ucu, göz çukurları ve burun kenarlarını bulan buluşsal bir yöntem önermiştir. Yüzün şekil indeks haritasını kullanarak simetri ekseninin hesaplandığı çalışmada,

yüz eğrilik bilgisine dayalı olarak burun ucu, göz çukurlarının iç kenarları ve burun ucunun dış kenarları bulunmaktadır. Creusot v.d. [2] nirengi noktalarının özniteliklerine ek olarak şekil bilgisini de kullanan istatistiksel bir nirengileme yöntemi önermişlerdir. Çalışmalarında, 3B imgelerden örgüler elde edilmekte ve bu örgülerin üzerlerinde aday nirengi noktaları bulunmaktadır. Bulunan aday noktaların oluşturduğu şekillerin istatistiksel analizinin yapıldığı çalışmada en olası adaylar nirengi noktaları olarak seçilmektedir. Şekil bilgisini kullanan bir diğer istatistiksel yöntem de, mevcut 3B yöntemler arasında örtme ve yüz ifadesine karşı gürbüz en başarılı nirengileme yöntemidir [7]. Nirengi noktalarının şekil bağlamalarının kullanıldığı çalışmada, yerel özniteliklerin analizi yapılarak aday nirengi noktaları belirlenmektedir. Aday noktaların alt kümeleri oluşturularak farklı nirengi noktaları kombinasyonları seçilmekte ve bu sayede yöntemin eksik nirengi noktası bulunan örneklerle karşı gürbüz olması sağlanmaktadır. Yöntemin başarımları Bosphorus [5] veritabanı üzerinde sınanarak üstünlüğü gösterilmiştir.

Bu çalışmada 2B imgelerde nirengi noktalarının bulunmasında kullanılan başarılı bir yöntem olan GÜdümlü İniş Yöntemi'nin (Supervised Descent Method - SDM) [8] 3B imgelerden elde edilen yüz derinlik imgelerinde nirengi noktalarının bulunması için kullanılması önerilmektedir. Bölüm II'de SDM yöntemi anlatılmakta ve derinlik imgelerine uygulanırken yapılan işlemler anlatılmaktadır. Bölüm III'te önerilen yöntemin başarımlarını ölçmek için kullanılan veri kümesi (Bosphorus [5]), ve yapılan deneylerin sonuçları aktarılmaktadır. Bölüm IV'te yapılan çalışma değerlendirilmekte ve önerilen yöntemin geliştirilmesi için gelecekte neler yapılabileceği tartışılmaktadır.

## II. ÖNERİLEN YÖNTEM

### A. GÜdümlü İniş Yöntemi

Kamera kalibrasyonu, imge hizalama gibi pek çok bilgisayarda görü probleminin çözümü için kullanılan Lineer olmayan Eniyileme yöntemlerinin iki temel eksikliği bulunmaktadır. Bu eksiklerden ilki eniyilenmesi sırasında enküçüklenmeye çalışılan fonksiyonun her zaman analitik olarak türevinin

alınmıyor olmasıdır. Diğeri ise Hessian matrisinin çok büyük olması ve her zaman pozitif tanımlı olmamasıdır. Xiong v.d. [8] Lineer-olmayan En Küçük Kareler (Non-linear Least Squares - NLS) fonksiyonunu bu problemlerden bağımsız olarak enküçükleyen GÜdümlü İniş Yöntemini (Supervised Descent Method - SDM) önermiştir.

Yöntemi 2B yüz imgelerinde nirengi noktası bulma problemine uyarlayan Xiong v.d., mevcut yöntemlerden daha üstün olduğunu göstermiştir. SDM eğitiminin ilk adımı nirengi noktalarının örnekler üzerinde başlangıç konumlarına yerleştirilmesidir ( $x_0$ ). Eğitim kümesindeki örnekler yüz bulma işlemi uygulanması sonucu elde edilen yüz çerçeveleri ve elle işaretlenmiş nirengi noktası konumları arasında ortalama bir bağılı ilişki hesaplanmaktadır. Elde edilen bu bağılı ilişki kullanılarak yeni gelen örnekler üzerindeki nirengi noktalarının başlangıç konumları yüz bulma işleminin ardından belirlenmektedir.

Nirengi noktalarının başlangıç konumlarından ( $x_0$ ) veya herhangi bir  $k$  anında buldukları konumlardan ( $x_k$ ) elle işaretlenmiş konumlarına ( $x_*$ ) gitmeleri için gerekli hareket  $\Delta x$  ile ifade edilmektedir. Xiong v.d. herhangi bir  $k$  anındaki  $\Delta x$ 'i nirengi noktalarının buldukları konumlardaki yerel öznitelikleri  $\phi_k$ , iniş yönü  $R_k$  ve önyargı parametresi ( $b_k$ ) cinsinden tanımlamaktadır (Bkz. Denklem 1).

$$\Delta x_k = x_* - x_k = R_k \phi_k + b_k \quad (1)$$

Bilinmeyenler  $R_k$  ve  $b_k$ 'yi hesaplayabilmek için, problem Lineer En Küçük Kareler (Linear Least Squares - LLS) şeklinde tanımlanmıştır (Bkz. Denklem 2).

$$\arg \min_{R_k, b_k} \sum_{d^i} \sum_{x_k^i} \|\Delta x_i^{k,i} - R_k \phi_k^i - b_k\|^2 \quad (2)$$

Eğitim kümesindeki tüm örnekler ( $d^i$ ) ve her örneğin farklı başlangıç nirengi konumları için ( $x_k^i$ ) için hatayı enküçükleyen  $R_k$  ve  $b_k$  hesaplanmaktadır. Ardından  $R_k$  ve  $b_k$  kullanılarak nirengi noktalarının konumları Denklem 3'te görülebileceği gibi yerel öznitelikleri kullanarak ( $\phi_k$ ) güncellenmektedir.

$$x_{k+1} = x_k + R_k \phi_k + b_k \quad (3)$$

Eğer nirengi noktalarının konumları bir önceki konumları ile örtüşmediyse,  $R_{k+1}$  ve  $b_{k+1}$ , güncellenmiş  $x_{k+1}$  konumları üzerinden hesaplanır ve noktalar tekrardan güncellenir. Eğitim aşamasında bu döngü nirengi noktalarının konumları örtüşene kadar veya daha önceden belirlenmiş maksimum yineleme sayısına erişilene kadar devam eder.

Test aşamasında bir yüz örneği geldiğinde ise, yüz bulma işleminin ardından nirengi noktaları başlangıç konumlarına yerleştirilir ve eğitim aşamasında öğrenilen  $R$  ve  $b$  parametreleri kullanılarak, en büyük yineleme sayısına erişinceye veya nirengi noktalarının konumları örtüşünceye kadar Denklem 3 kullanılarak noktaların konumları güncellenir.

## B. 3B Derinlik İmgelerinde GÜdümlü İniş Yöntemi

Bu çalışmada, 2B yüz imgelerinde nirengi noktası bulmak için en başarılı yöntem olan GÜdümlü İniş Yönteminin (Supervised Descent Method - SDM), 3B derinlik imgelerinde nirengi noktası bulmak (Supervised Descent Method for 3D Depth Images - SDM3D) için kullanılması önerilmektedir. SDM3D'nin, SDM ile üç temel farkı vardır. Bunlar: kullanılan öznitelikler, başlangıç nirengi noktalarının konumlandırılması ve nirengi noktalarının hareket birimidir.

SDM'de nirengi noktalarının yerel öznitelikleri olarak Boyut Bağımsız Öznitelik Dönüşümü (Scale Invariant Feature Transform - SIFT) [4] kullanılmıştır. Fakat SDM ile kullanılacak öznitelikler için herhangi bir kısıtlama olmadığından istenildiği takdirde başka özniteliklerin kullanılması da mümkündür. SDM3D'de, SDM tarafından kullanılan SIFT özniteliklerine ek olarak Yönlü Eğimlerin Histogramı (Histogram of Oriented Gradients - HOG) [3] da kullanılmıştır.

SDM3D'nin SDM'den bir başka farkı ise nirengi noktalarının hareket birimidir. SDM'de nirengi noktaları pikseller cinsinden hareket ederken, SDM3D'de nirengi noktaları piksel değerlerinin imgenin yükseklik ve genişliğine oranı cinsinden hareket etmektedir. Bu tercihin sebebi ölçek farklılıklarından kaynaklanabilecek hataların enküçüklemek istenmesidir.

Son olarak, SDM'de başlangıç nirengi noktalarını yüz bulma işleminin ardından, yüz çerçevesinin içine yerleştirmektedir. SDM3D'de kullanılan Bosphorus [5] veritabanında mevcut 3B veri sadece yüzü barındırdığı için yüz bulma adımı sistemden çıkartılmış ve tüm derinlik imgelerine yüz bulma sonucu elde edilen yüz çerçevesi gibi davranılmıştır.

## III. DENEYSEL SONUÇLAR

### A. Kullanılan Veri Kümesi

Önerilen yöntemin performansını sınamak amacıyla, mevcut yöntemler tarafından sıkça kullanılan Bosphorus veritabanı [5] üzerinde deneyler yapılmıştır. 105 kullanıcıya ait 4666 yüz örneğini barındıran Bosphorus veritabanında her bir örneğe ait 2B renkli imge, 3B nokta kümesi ve elle işaretlenmiş 24 yüz nirengi noktasının konumları bulunmaktadır.

Cepheden ve çeşitli pozlardan çekilmiş yüz örneklerini içeren Bosphorus veritabanı, 6 temel duyguya (mutluluk, sürpriz, korku, mutsuzluk, sinir ve iğrenme) ve yüz hareket birimlerine (Action Unit - AU) dayanan yüz ifadelerini kapsamaması nedeniyle zorlayıcı bir veritabanıdır.

### B. Deney Düzenekleri ve Sonuçları

Önerilen yöntemin (SDM3D) başarımı Bosphorus veritabanı [5] kullanılarak örtüsüz cepheden yüz imgeleri üzerinde sınanmış ve Tablo I'de özetlenen mevcut 3B nirengileme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Mevcut yöntemler arasında en başarılı yöntem olan Sukno v.d.'nin çalışmasının [7] Bosphorus veritabanı üzerinde yapılan deneylerinde, dördü Creusot v.d. [2] tarafından üretilmiş 14 nirengi noktası kullanılmıştır. Bu bildiriye yapılan deneyler [7] ve [2] de kullanılan, Bosphorus veritabanında mevcut 10 nirengi noktası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Seçilen nirengi noktaları, iç ve dış göz kenarları, burun ucu ve kenarları, ağız kenarları ve çene ucudur. Deneylerin karşılaştırılabilir olması adına veritabanında bulunan 2902

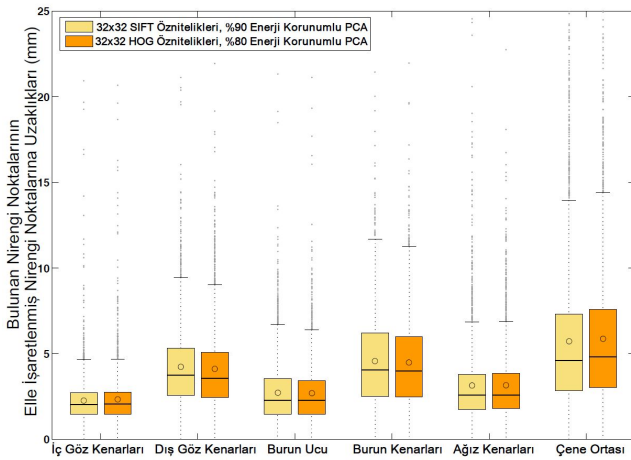
Yöntem	Nirengi Noktası Sayısı	Eğitim Örneği Sayısı	Test Örneği Sayısı	Kullanılan Öznitelik	Kullanılan Yöntem
Alyüz v.d. 2010 [1]	5	—	2902	Şekil İndeksleri	Buluşsal
Creusot v.d. 2013 [2]	14	99	2803 (4339)	Yüzey Betimleyicileri	Lineer Discriminant Analizi ve Adaboost
Sukno v.d. 2014 [7]	14	1402 (2170) x2	1402 (2170) x2	ASPC [6]	Eksik Yerel Öznitelikler ile Şekil Bağlanımı
SDM3D (Önerilen yöntem)	10	1446 x 2	1446 x 2	SIFT [4] - HOG [3]	Güdümlü İniş Yöntemi [8]

Tablo I: Önerilen yöntemin karşılaştırıldığı yöntemlerin özeti

örtüsüz cephe imgesi Sukno v.d. tarafından kullanıldığı gibi eğitim ve sınama setlerinde aynı kullanıcıya ait örnekler olmayacak şekilde ikiye bölünmüş ve tüm deneylerde 2-katmanlı çapraz doğrulama yapılmıştır.

Deneyler sırasında bir yöntemin başarımı iki ölçüt kullanılarak değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki, yöntem tarafından bulunan nirengi noktalarının elle işaretlenmiş referanslarından 3B Öklit uzaklıklarının ortalaması ve standart sapmasıdır. Bir yöntem bir nirengi noktasında diğer yöntemlerden daha düşük bir ortalama uzaklık ve standart sapmaya sahip ise o yöntem daha başarılı kabul edilmektedir. Deneyler sırasında kullanılan ikinci başarımlı ölçütü ise yöntemin bulduğu nirengi noktalarının referans noktalarına olan 3B Öklit uzaklıklarının hangi oranla verilen bir eşik değerlerinden daha küçük olduğudur. Bu oran, bir yöntemin verilen eşik değerindeki başarımı ile doğru orantılıdır. İdeal bir yöntem düşük eşik değerinde yüksek başarıma sahiptir.

Deney kurulumlarının ve karşılaştırılan yöntemlerin değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinin ardından SDM3D için başarımın en yüksek olduğu parametrelerin bulunmasına yönelik deneyler yapılmıştır. SDM3D'nin parametreleri, nirengi noktalarının öznitelikleri (SIFT veya HOG), bu özniteliklerin hesaplandığı çerçeve boyutları (16 × 16, 32 × 32, 48 × 48) ve özniteliklere Ana Bileşen Analizi (Principal Component Analysis - PCA) uygulandığında korunulan enerji miktarlarıdır (%50, %60, %70, %80, %90, %95, %98). Yapılan deneyler sonucunda iki öznitelik için de en iyi çerçeve boyutunun 32x32 olduğu görülmüştür. 32x32 pencerenin kullanıldığı deneylerde, SIFT için %90 enerji korunumlu, HOG için ise %80 enerji korunumlu PCA uygulandığında en yüksek başarımlı almıştır. Birbirlerine yakın başarıma sahip bu iki kurulumun, istatistiksel karşılaştırılması Şekil 1'deki kutu grafiğinde görülmektedir.



Şekil 1: SDM3D'in en başarılı olduğu SIFT ve HOG kurulumlarının birbirleri ile karşılaştırılması

SDM3D'nin en başarılı olduğu SIFT ve HOG kurulumları ile mevcut yöntemler karşılaştırıldığında, SDM3D'nin en nirengi noktasından yedisinde en iyi sonucu verdiği görülmektedir (Bkz. Tablo II). Buna ek olarak SDM3D iç göz kenarlarının ve burun ucunun yerini, Alyüz v.d. [1] tarafından gerçekleştirilmiş 20 kullanıcının nirengi noktalarını elle işaretlediği deneylerden daha başarılı bir şekilde bulmaktadır. SDM3D burun ucunda en başarılı yöntem olan [7]'e yakın bir başarımlı gösterse de, burun kenarlarını nirengilemekte zorlanmaktadır.

Tablo III'te 3B nirengi noktası bulma yöntemleri tarafından sıkça kullanılan 10, 12, 15 ve 20mm eşik değerlerinde yöntemlerin başarımları bildirilmiştir. Önerilen yöntemin dış göz kenarları, ağız kenarları ve çene ucunda daha başarılı olduğu görülürken, iç göz kenarları ve burun ucunda [7]'den daha düşük fakat yakın başarımlı elde etmiştir. Şekil 2'de SDM3D'nin başarılı ve başarısız olduğu nirengileme sonuçları birinci ve ikinci satırlarda paylaşılmıştır.

Kullanılan iki değerlendirme ölçütü sonucunda da SDM3D'nin burun kenarlarında, karşılaştırılan diğer yöntemlere göre biraz daha fazla hata yaptıği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni SDM3D yönteminin derinlik imgelerinde yaptığı piksel hatasının (2B düzlemde), burun kenarları gibi  $z$  değişiminin çok olduğu yerlerde yüksek  $mm$  (3B) hatası üretmesidir. Kısaca,  $z$  değişiminin yüksek olduğu bölgelerde, derinlik imgelerindeki birkaç piksellik kayma hatası yüksek 3B hata hesaplamasına neden olmaktadır.

3B noktalarını derinlik imgelerinde 2B öznitelikler kullanarak aramanın başka bir problemi ise, 2B imgelerde tanımlı bazı noktaların 3B imgelerde karşılığı olmamasıdır. Örneğin Şekil 2'de en alt satırda görülen örneklerde, ağız boşluğunda tanımlı 3B noktalar yokken, SDM3D bu noktaları derinlik imgelerinde nirengi noktası olarak bulmaktadır. Bu gibi durumlarda söz konusu noktaların 3B koordinatları yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. 3B koordinatlardan X ve Y koordinatları nirengileme sonucu bulunan pikselin bulunduğu kolon ve satıra karşılık gelen noktaların X ve Y koordinatlarının ortalamasını alarak bulunurken, Z koordinatı değerine yüzün ortalama Z değeri atanmaktadır.

#### IV. VARGILAR

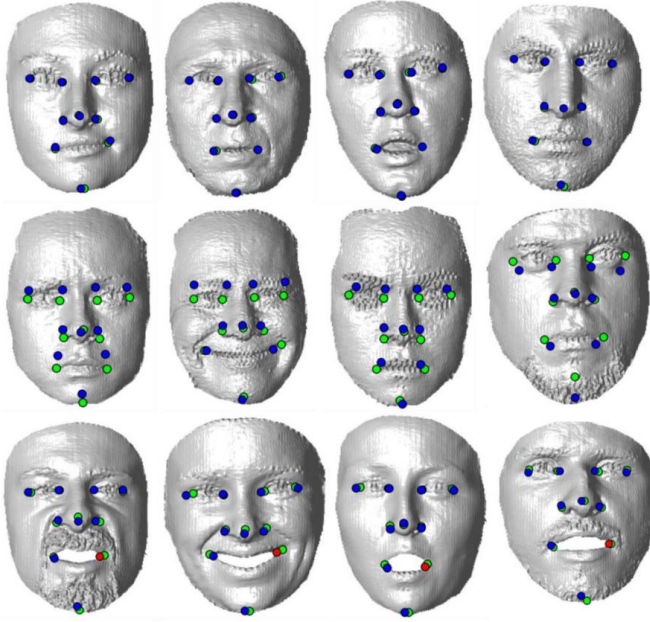
Teknolojik gelişmeler ve 3B verinin sağladığı avantajlar nedeniyle, yüzü kullanarak insanları tanımaya ve algılamaya çalışılan yöntemlerde 2B imgeleri yerine 3B imgelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yüz üzerine çalışan pek çok bilgisayarda görü yönteminin ilk adımı nirengi noktalarının bulunmasıdır. Bu çalışmada 2B yüz imgelerinde nirengi noktası bulmada en başarılı olan Güdümlü İniş Yönteminin (Supervised Descent Method) 3B derinlik imgelerinde nirengi noktası bulmak için kullanılması (Supervised Descent Method for 3D Depth Images) önerilmiştir.

Yöntem	İç Göz Kenarları	Dış Göz Kenarları	Burun Ucu	Burun Kenarları	Ağız kenarları	Çene Ucu
Elle İşaretleme [1]	2.51	—	2.96	1.75	—	—
Alyüz v.d. 2010 [1]	3.70	—	3.05	3.10	—	—
Creusot v.d. 2013 [2]	4.14 ± 2.63	6.27 ± 3.98	4.33 ± 2.62	4.16 ± 2.35	7.95 ± 5.44	15.38 ± 10.49
Sukno v.d. 2014 [7]	2.85 ± 2.02	5.06 ± 3.67	<b>2.33 ± 1.78</b>	<b>3.02 ± 1.91</b>	6.08 ± 5.13	7.58 ± 6.72
SDM3D (SIFT)	<b>2.26 ± 1.79</b>	4.23 ± 2.94	2.72 ± 2.19	4.57 ± 3.62	<b>3.14 ± 2.71</b>	<b>5.72 ± 4.31</b>
SDM3D (HOG)	2.33 ± 1.92	<b>4.11 ± 3.01</b>	2.69 ± 2.20	4.49 ± 3.62	3.16 ± 2.70	5.87 ± 4.19

Tablo II: Bosphorus veritabanı için milimetre cinsinden nirengileme hatalarının ortalama ve standart sapmaları

Yöntem	Eşik Değeri	İç Göz Kenarları	Dış Göz Kenarları	Burun Ucu	Burun Kenarları	Ağız Kenarları	Çene Ucu
Creusot v.d. 2013 [2]	10 mm	98.68	87.67	96.08	98.23	70.90	35.68
	12 mm	99.55	94.13	98.75	99.43	80.37	45.16
	15 mm	99.86	98.70	99.61	99.84	89.88	58.71
	20 mm	99.91	99.80	99.96	99.89	97.31	75.76
Sukno v.d. 2014 [7]	10 mm	<b>99.93</b>	93.20	<b>99.36</b>	<b>99.57</b>	82.46	78.30
	12 mm	<b>99.96</b>	96.97	<b>99.82</b>	<b>99.89</b>	87.37	85.63
	15 mm	<b>99.96</b>	99.34	<b>99.96</b>	<b>99.96</b>	92.83	91.81
	20 mm	<b>99.96</b>	<b>99.93</b>	<b>100.0</b>	<b>99.96</b>	97.89	96.07
SDM3D (SIFT)	10 mm	99.46	<b>95.85</b>	99.31	90.12	96.67	<b>87.25</b>
	12 mm	99.59	<b>98.26</b>	99.59	94.73	97.70	<b>91.61</b>
	15 mm	99.71	<b>99.40</b>	99.69	98.65	98.39	95.48
	20 mm	99.79	99.81	99.79	99.91	99.03	98.31
SDM3D (HOG)	10 mm	99.36	95.56	99.31	90.60	<b>97.03</b>	86.18
	12 mm	99.48	97.98	99.55	95.22	<b>98.00</b>	91.43
	15 mm	99.69	99.34	99.62	98.57	<b>98.79</b>	<b>96.03</b>
	20 mm	99.81	99.76	99.93	98.83	<b>99.05</b>	<b>99.05</b>

Tablo III: Bosphorus veritabanında farklı eşik değerleri için yüzde cinsinden nirengileme başarımları



Şekil 2: SDM3D kullanılarak Bosphorus veritabanında nirengileme örnekleri: Yeşil noktalar referans, mavi noktalar SDM3D tarafından bulunan, kırmızı noktalar ise derinlik imgelerinde bulunup 3B imgelerde karşılığı olmayan nirengi noktalarını temsil etmektedir.

SIFT ve HOG öznelikleri kullanılarak derinlik imgeleri üzerinde eğitilen SDM3D, göz kenarları, ağız kenarları ve çene ucunu bulmakta mevcut yöntemlerden daha başarılı olmuştur. Burun ve burun kenarlarını bulmakta zorlanan SDM3D'nin bu eksikliğini gidermek için gelecek çalışmalarda 2B öznelikler yerine 3B eğrilik veya yüzey betimleyicilerinin kullanılması

planlanmaktadır. SDM3D'in geliştirilmesi ve genelleştirilmesi için yapılacak bir başka adım ise 3B veri kümelerindeki yüz imgelerinin yüz bulma sonucu elde edilen yüz çerçeveleri olarak kabul etmek yerine buluşsal yöntemlerle burun ucu ve etrafındaki noktaların bulunması ve bu noktalara bağlı uzaklıklar kullanılarak yüz nirengi noktalarının iklenendirilmesidir.

#### KAYNAKÇA

- [1] Nese Alyuz, Berk Gokberk, and Lale Akarun. Regional registration for expression resistant 3-d face recognition. *Information Forensics and Security, IEEE Transactions on*, 5(3):425–440, 2010.
- [2] Clement Creusot, Nick Pears, and Jim Austin. A machine-learning approach to keypoint detection and landmarking on 3d meshes. *International Journal of Computer Vision*, 102(1-3):146–179, 2013.
- [3] N. Dalal and B. Triggs. Histograms of oriented gradients for human detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, volume 1, pages 886–893 vol. 1, June 2005.
- [4] David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2):91–110, 2004.
- [5] Arman Savran, Neşe Alyüz, Hamdi Dibeklioğlu, Oya Çeliktutan, Berk Gökberk, Bülent Sankur, and Lale Akarun. Bosphorus database for 3d face analysis. In *Biometrics and Identity Management*, volume 5372 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 47–56. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [6] Federico M Sukno, John L Waddington, and Paul F Whelan. Rotationally invariant 3d shape contexts using asymmetry patterns. In *GRAPP-International conference on computer graphics theory and applications*, 2013.
- [7] Federico M Sukno, John L Waddington, and Paul F Whelan. 3-d facial landmark localization with asymmetry patterns and shape regression from incomplete local features. In *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2014.
- [8] Xuehan Xiong and Fernando De la Torre. Supervised descent method and its applications to face alignment. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2013.