

ORTAM SICAKLIĞI VE NEMİN InGaAs DEDEKTÖRLERİN TAYFSAL DUYARLILIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Semih YURTSEVEN
Mevlüt KARABULUT
Seda OĞUZ AYTEKİN
Hümbet NASİBLİ

ÖZET

Temassız ve tahribatsız sıcaklık ve nem ölçüm yöntemleri, temel araştırmalardan endüstriyel uygulamalara kadar uzanan tüm alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, günümüzde, InGaAs dedektör temelli radyasyon sıcaklık termometreleri 150 °C ile 1100 °C sıcaklık aralığında 10 mK ($k=2$) belirsizlik ile termodinamik sıcaklığın ölçülmesi seviyesine ulaşmış durumdadır. InGaAs dedektör temelli rutubet ve nem ölçerler de ölçüm doğruluğu ve hızı açısından muadilleri ile yarışabilecek seviyeye ulaşmıştır. Bunların yanı sıra su moleküllerinin ikinci harmoniklerinin InGaAs dedektörlerin çalışma aralığına (yakın kızıl ötesi aralığı) isabet etmesi, bu dedektörlerin yansıma bazlı spektroskopi, hiperspektral görüntüleme vb. yöntemlerde başta gıda sektörü olmak üzere tıpta da yaygın olarak kullanılmasına imkan tanımıştır. Bu dedektör temelli cihazların çıkış sinyalleri dedektörlerin mutlak duyarlılığının yanı sıra tayfsal duyarlılığına da bağlıdır. Özellikle ortam koşullarının tayfsal duyarlılığı etkilediği, çalışmalarımızda görülmekte ve literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada, InGaAs fotodedektörün normalize tayfsal duyarlılığının ortam sıcaklığına ve bağıl neme bağlı olarak değişimi araştırılmıştır. Normalize edilmiş tayfsal duyarlılıklar, 10 °C ila 45 °C arasında değişen farklı sıcaklıklarda ve 30 %rh ile 80 %rh arasında değişen farklı bağıl nem değerlerindeki ortam koşullarında ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Ayrıca, ortam sıcaklığı etkisini ortadan kaldırmak için geliştirdiğimiz devre tasarımı ve bu devre ile elde edilen olumlu sonuçlara da çalışma kapsamında yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: InGaAs fotodedektörler, Optik bant genişliği, Radyometrik ölçümler, Spektral duyarlılık.

ABSTRACT

Nowadays, noninvasive and nondestructive temperature and humidity measurement methods are penetrating in many fields ranged from fundamental researches to industrial applications. For example, the accuracy of InGaAs detector-based radiation temperature thermometers has reached a level of measuring the thermodynamic temperature with an uncertainty of 10 mK ($k=2$) in the temperature range from 150 °C to 1100 °C. Humidity and moisture meters based on the same detector have reached a level that can compete with their counterparts in terms of measurement accuracy and speed. In addition, the second harmonics of water molecules coincide with the operating range of InGaAs detectors, these detectors are widely used in reflection-based spectroscopy, hyperspectral imaging, etc. methods, in medicine and especially in the food sector. The output signals of these detector-based devices depend on the relative responsivity of the detectors as well as the spectral responsivity. Ambient conditions affect the spectral responsivity which is seen from our studies and also from the literature. In this work, the normalized spectral responsivity of the InGaAs photodetector was investigated depending on the ambient temperature and relative humidity. The normalized spectral responsivities were recorded at different ambient temperatures ranged from 10 °C to 45 °C and at various environmental relative humidity values ranged from 30 %rh to 80 %rh.

In addition, the circuit design that we developed to eliminate the ambient temperature effect and the positive results obtained with this circuit will be included in the scope of the study.

KeyWords: InGaAs photodetectors, Optical bandwidth, Radiometric measurements, Spectral responsivity.

1. GİRİŞ

Elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi (NIR) bölgesi, tipik olarak 780 nm ile 2500 nm aralığını kapsayan, birçok yaşam bilimleri alanında önemli rol oynar. Bu bölgede ışığa en duyarlı fotodiyotlar, InGaAs malzeme tabanlı fotodiyotlardır. Bu nedenle, yüksek hassasiyetli, kısa ve uzun süre kararlı InGaAs fotodiyotlarının imalatındaki son kazanımlar, spektrumun yakın kızılötesi bölgesindeki çeşitli ölçüm yöntemlerindeki (tekli InGaAs dedektörü ve iki boyutlu InGaAs dizisi) gelişmeleri hızlandırmıştır. Algılama, tepki süresi ve invaziv olmayan doğası nedeniyle, NIR spektroskopisi temelli klinik tanı yöntemlerinde, tıp alanında çeşitli faydalar sunar ve sonuç olarak hastaneler, klinik merkezler ve tıbbi araştırmalardaki [1] birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

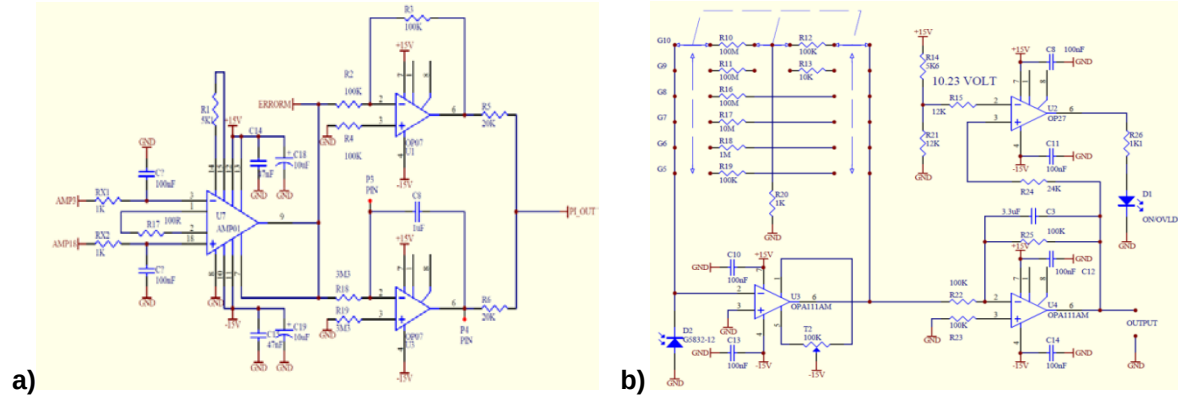
Örneğin, fotodinamik tedavide (1270 nm'de yakın kızılötesi aralıktaki lüminesansı ile doğrudan tekli-oksijen tespiti) [2] kızılötesi iletim spektroskopisi ve yakın kızılötesi iletim spektroskopisi ile invaziv olmayan kan glukozu algılama gibi klinik uygulamalar [3] 1.3 μm dalga boyunda yüksek hızlı spectral domain optik koherens tomografi [4] hızlı gelişen alanlar arasındadır.

Ayrıca, Raman spektroskopisinin klinik enstrümantasyonu ve uygulamaları, klinik çalışmalarda NIR spektroskopi uygulamaları bağlamında özel bir yer kazanmıştır. Her ne kadar InGaAs tabanlı dedektörlerin kuantum verimliliği, 785 nm'de uyarılma için yaklaşık 967-1118 nm yüksek dalgaboyu bölgesinde Raman spektrumlarının elde edilmesinde kullanım[5] için iyileştirmeler gerektirse de, Nd-YAG lazer kaynaklarından (1064 nm) yararlanan cihaz konfigürasyonları, kısa süre önce Raman spektroskopisinin, akciğerler ve mide dokusu gibi dokularda 1064 nm'de yüzlerce saniye seviyesinde kazanım süreleri ile uyarılmasının mümkün olduğunu bildirmiştir [6-7].

Ayrıca, günümüzde invaziv olmayan, tahribatsız sıcaklık ve nem ölçüm sensörleri, temel araştırmalardan endüstriyel uygulamalara ve hatta günlük yaşam süreçlerine (özellikle gıda sektöründe) kadar birçok alana nüfuz etmektedir. Şu anda, TÜBİTAK UME'de iki farklı yüksek hassasiyetli InGaAs dedektör tabanlı ölçüm sistemi geliştiriyoruz: birinci cihaz ile çift dalga boyu oranına dayanan temassız termal ışınım algılayarak sıcaklık ölçümü [8] ve ikinci cihaz ile de son derece yüksek hassasiyetle nem ve rutubet algılama [9] hedeflenmektedir. Her iki sistemin de geliştirilmesi, kullanılan InGaAs dedektörlerinin temel parametrelerinin doğru bir karakterizasyonunu gerektirir. Bu çalışmada, InGaAs fotodiyotunun kontrollü çevresel koşullar altında normalize edilmiş spektral duyarlılığının ölçüm sonuçlarını açıkladık. Özellikle, normalize edilmiş tayfsal duyarlılıklar, çeşitli çevresel nem değerlerinde 10 °C ile 40 °C arasında değişen farklı ortam sıcaklıklarında ölçülmüş ve analiz edilmiştir[10].

2. FOTODEDEKTÖR SİSTEMİ

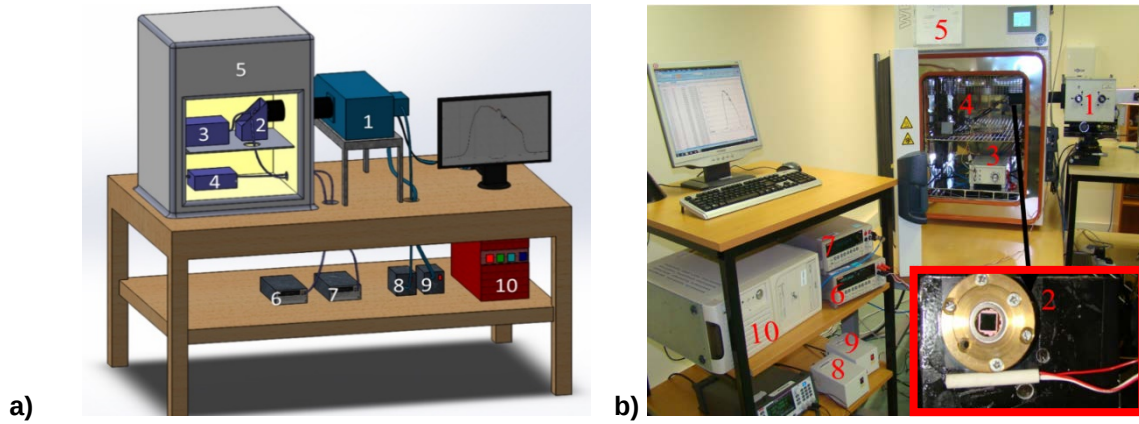
Çalışmada kullanılan InGaAs dedektör, Hamamatsu tarafından üretilen ve 5 mm çapında aktif alana sahip camlı G5832-15 tipidir. Dedektör termo-elektriksel olarak -10 °C'ye soğutuldu. Şekil 1. a), bu çalışmada kullanılan termo-elektriksel soğutma kontrollü elektronik devre şemasını göstermektedir. Dedektörün çıkış sinyali, transempedans yükseltece bağlıdır. Bu amplifikatör, dedektör fotoakımını gerçek sinyal-gürültü oranını önemli ölçüde düşürmeden, yükseltilmiş gerilime dönüştürmek için kullanılmıştır. Amplifikatör, $\times 10^5$ V/A ile $\times 10^{10}$ V/A arasında değişen altı farklı kazanç ayarına sahiptir ve ölçümlerde $\times 10^7$ V/A konumunda kullanılmıştır. Elektronik devre şeması Şekil 1. b)'de verilen amplifikatör devresi teflon karta kurulmuştur. Her iki elektronik devre (sıcaklık kontrolü ve transempedans yükselticisi) aslında [11-12]'de tasarlandı. Transempedans yükselticilerin ve bu çalışmada kullanılan kalibrasyon yöntemlerinin ayrıntıları [13-14] 'de açıklanmaktadır.



Şekil 1. Hamamatsu InGaAs fotodiyotunun: **a)** sıcaklık kontrol devresi çizimi, **b)** amplifikatör devresi.

3. ÖLÇÜM DÜZENEGİ

Ortam şartlarının InGaAs dedektörler üzerindeki etkisinin incelenmesi için oluşturulan deney düzeneğinin blok diyagramı Şekil 2. a)'da gösterilmiştir. İstenilen ortam koşullarını oluşturmak için iklimlendirme kabini (Weiss WKL100) kullanılmıştır. Kabin içi boyutları 500 mm x 500 mm x 400 mm (Y x G x D)'dir. Kabinin yan duvarında bulunan dairesel bir açıklık ile test ve referans cihazlarını birbirinden ayırmak mümkün olmuştur. Böylece test altındaki dedektör iklimlendirme kabineye yerleştirilmiştir; referans ışınma kaynağı, yani monokromatör bazlı spektral ışınım kaynağı ve tüm veri toplama birimleri sabit oda sıcaklığı altında kabin dışına yerleştirilmiştir.



Şekil 2. a) Ölçüm düzeneğinin blok şeması ve b) görüntüsü.

- (1) Monokromatör; (2) Dedektör Ünitesi (Kırmızı kare içindeki küçük resim InGaAs dedektörünü ve Pt-100 termometresini göstermektedir.); (3) Dedektörün yükseltici ve sıcaklık kontrolcüsü; (4, 8, 9) Güç kaynakları; (5) İklimlendirme kabini; (6, 7) Multimetreler; (10) Operatör bilgisayarı.

Dedektör sistemi etrafındaki sıcaklık (kabin içindeki ortam sıcaklığı), dedektör metal yüzeyini saracak şekilde sabitlenmiş bir pirinç bloğun üzerinde bulunan Platin direnç termometre (Pt-100) (RS Components) ile ölçüldü, Şekil 2. b). Ortam sıcaklığının InGaAs dedektör bazlı sensörün spektral duyarlılık ölçümleri üzerindeki etkisini belirlemek için, nem ve sıcaklık sensörü iklimlendirme kabineye yerleştirildi. Monokromatör sistemi iklimlendirme kabini dışına yerleştirildi. Monokromatörde kullanılan kırınım ızgarasının (Grating) oluk yoğunluğu (groove density) 600 grooves/mm'dir. Tüm tayfsal duyarlılık ölçümleri, fazla-doldurulmuş (overfilled) aydınlatma koşullarında yapıldı.

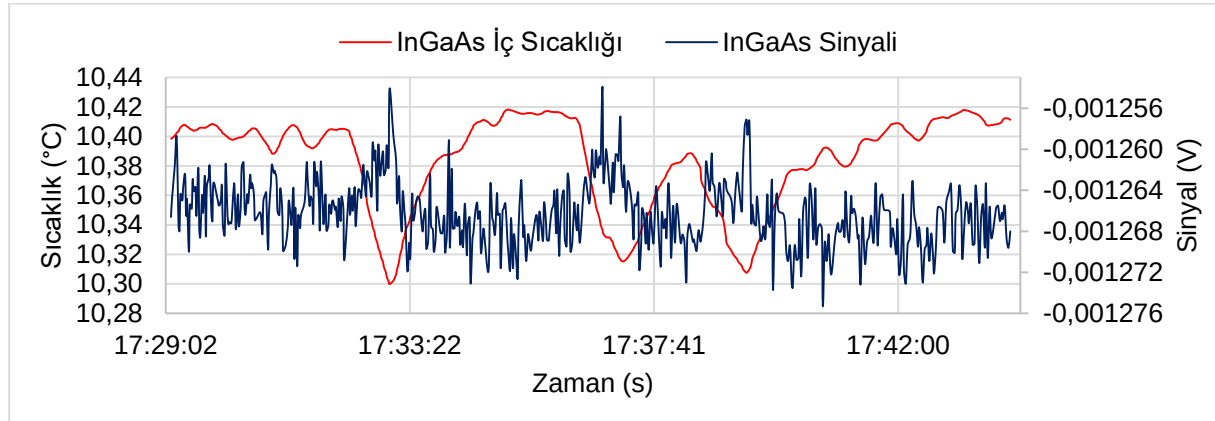
Bu ölçümler sırasında iki multimetre kullanılmıştır. Bunlardan biri InGaAs dedektörünün çıkış sinyalini (transempedans yükselteçten elde edilen gerilim), diğeri ise termometreden okunan ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

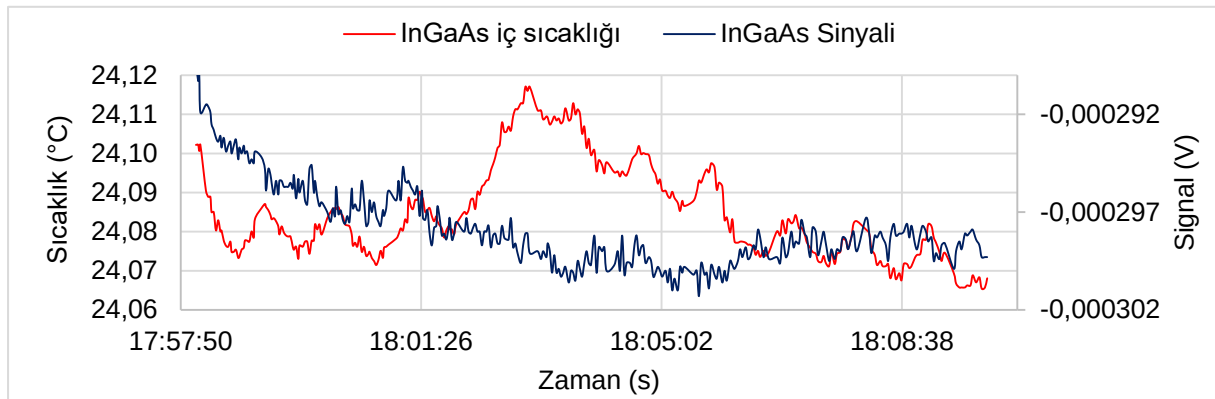
Normalize tayfsal duyarlılık ölçümleri, 600 nm ila 2000 nm aralığında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan yarım metre boyunda Czerny-Turner tipi tasarımı monokromatör (Acton Research Corporation marka), ışık kaynağı bir akkor lamba (DC gücü 30 Watt, tungsten-halojen) ve bir küresel aynadan oluşmaktadır. Test edilen dedektörler, monokromatörün çıkışına hizalanarak iki ölçüm gerçekleştirildi. 1,6 μm blaze dalga boyunda, 600 grooves/mm oluk yoğunluklu kırınım ızgarası (grating) kullanılarak yapılan ölçümlerde, kırınım ızgarasındaki optimum çalışma dalga boyu 1 μm ila 2,1 μm aralığını kapsamaktadır. Ölçümler, monokromatör çıkışı ile dedektörler arasında 300 mm mesafe bırakılarak ve bu aralık boru şeklinde siyah yalıtım malzemesi ile dışarıdan ışık almayacak şekilde kapatılarak yapıldı.

Deneyler, iklimlendirme kabininde UME yapımı Hamamatsu dedektör sistemi ve hazır alınan Teledyne dedektör sistemi ile 10 °C ve 40 °C arasında değişik sıcaklık değerlerinde gerçekleştirildi. İlk olarak, dedektör sistemlerinin karanlık sinyal (dark signal) davranışı analiz edildi.

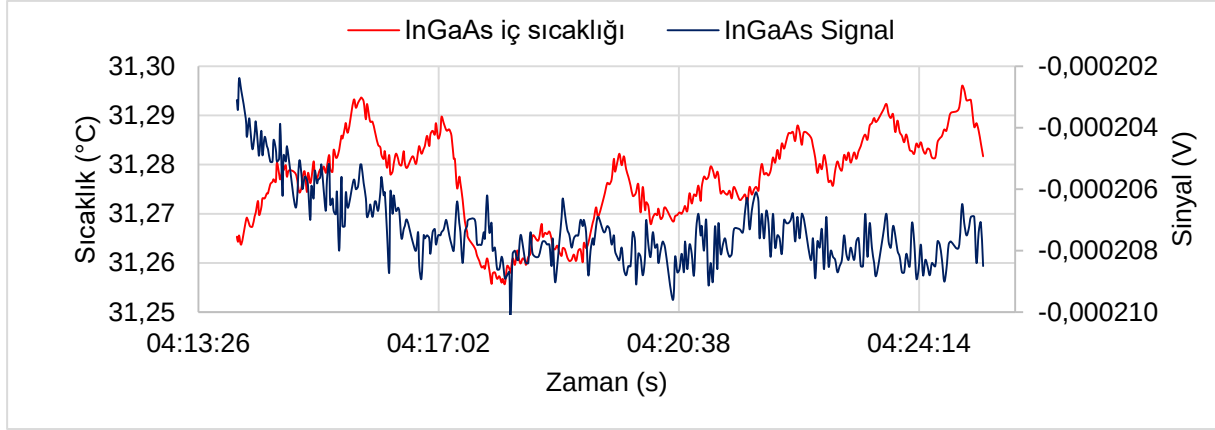
Şekil 3 – 6, karanlık sinyallerin ortam sıcaklığına bağımlılığını göstermektedir. Ayarlanan her ortam sıcaklığında bu karanlık sinyallerinin ortalama değeri, sırasıyla spektral duyarlılık ölçümlerinden elde edilen dedektör sinyallerinden çıkarıldı.



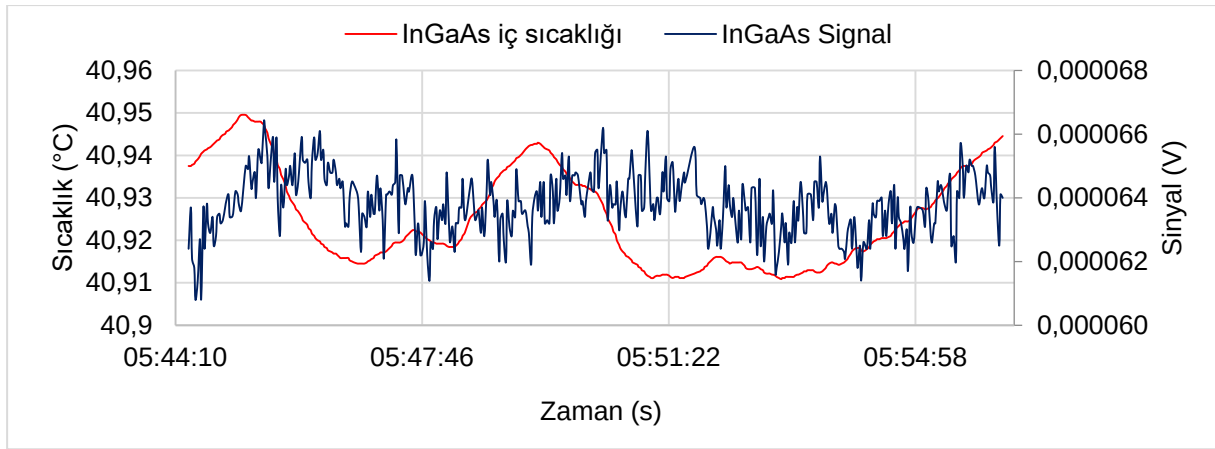
Şekil 3. Dedektörün 10 °C sıcaklık ortamındaki karanlık sinyali.



Şekil 4. Dedektörün 23 °C sıcaklık ortamındaki karanlık sinyali.

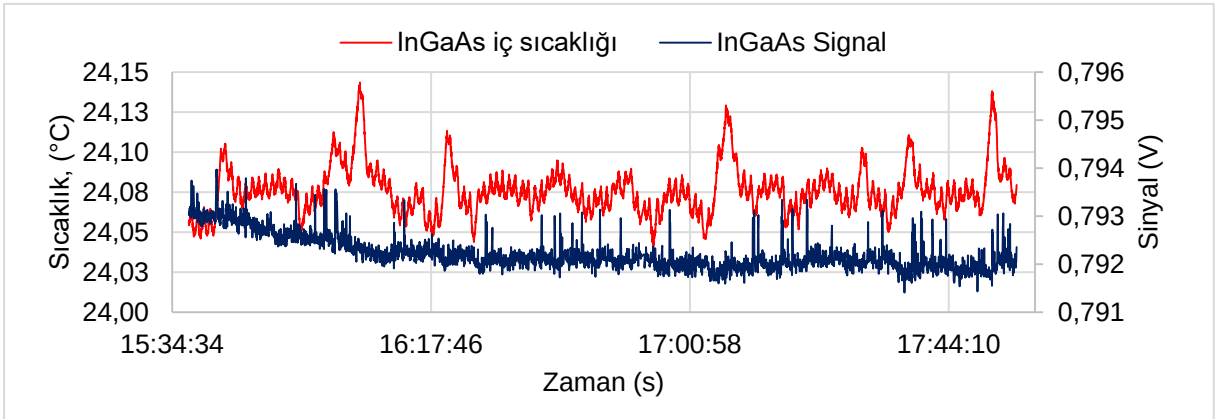


Şekil 5. Dedektörün 30 ° C sıcaklık ortamdaki karanlık sinyali.

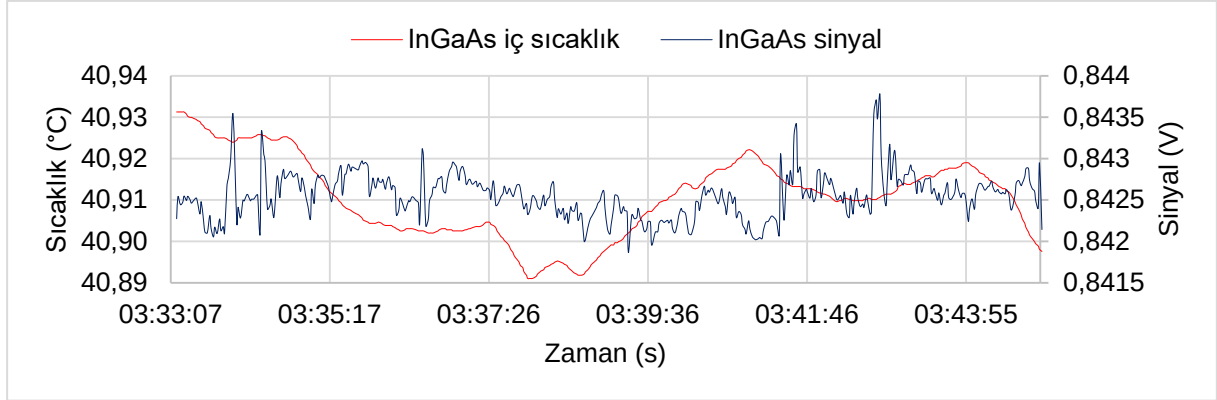


Şekil 6. Dedektörün 40 ° C sıcaklık ortamdaki karanlık sinyali.

Spektral duyarlılık ölçümleri sırasında monokromatörün lambası kontrollü bir DC akımı ile beslendi ve hemen hemen izotermal denge durumunun oluşması için tüm tayfsal ölçümlerden en az bir saat önce açıldı. Şekil 7 ve Şekil 8, sırasıyla 23 ° C'de ve soğutucu kapalı ; 40 ° C'de ve soğutucu açık şartlarında 1090 nm dalga boyunda elde edilen çıkış sinyallerinin örneklerini göstermektedir.

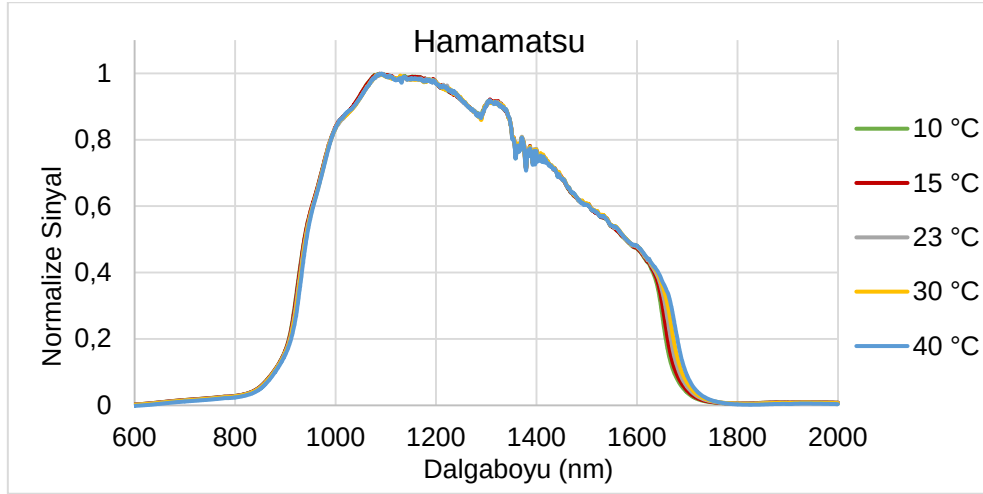


Şekil 7. Dedektörün çıkış sinyalinin 23 ° C kararlı ortam sıcaklığında, 1090 nm dalga boyunda kaydedilen kararlılığı.

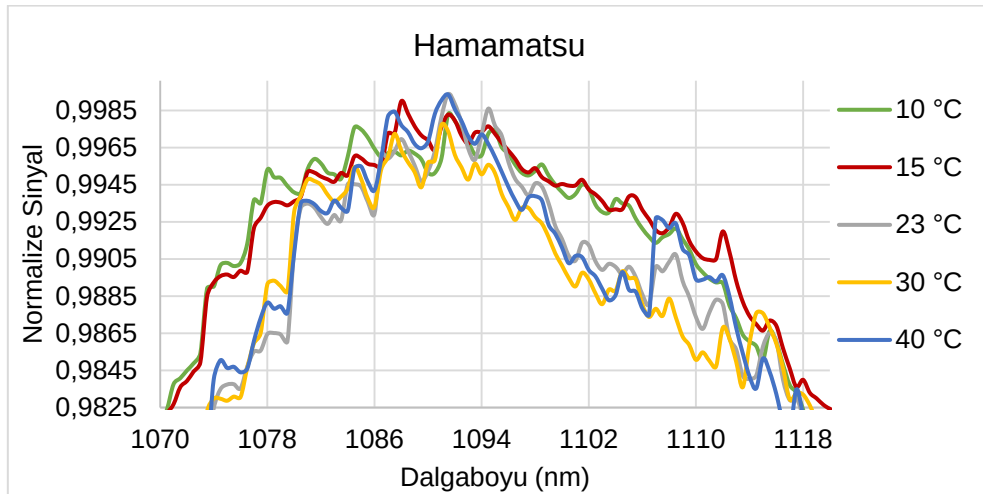


Şekil 8. Dedektörün çıkış sinyalinin 40 ° C kararlı ortam sıcaklığında, 1090 nm dalga boyunda kaydedilen kararlılığı.

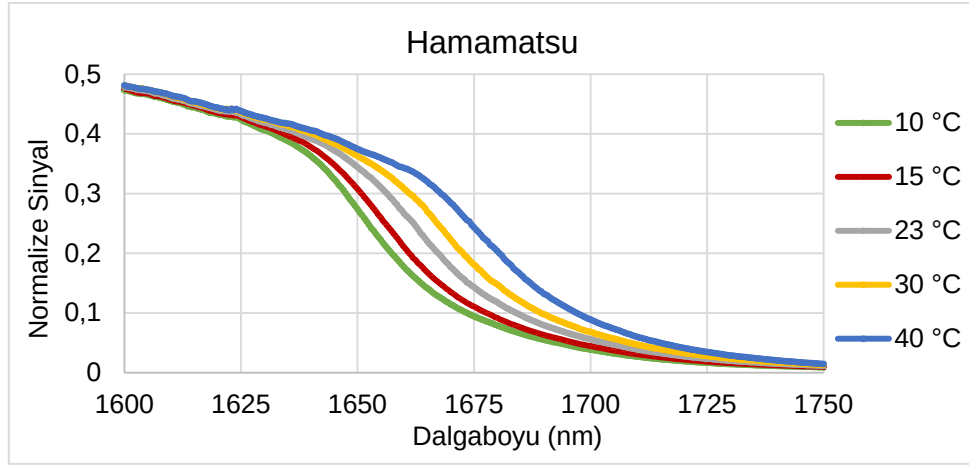
Tayfsal duyarlılık ölçümleri Hamamatsu dedektör sistemi soğutucu birimi açılarak ve kapatılarak iki farklı durumda gerçekleştirildi. Şekil 9-11, hamamatsu dedektör sistemi soğutucu birimi kapatıldığında elde edilen sonuçları göstermektedir.



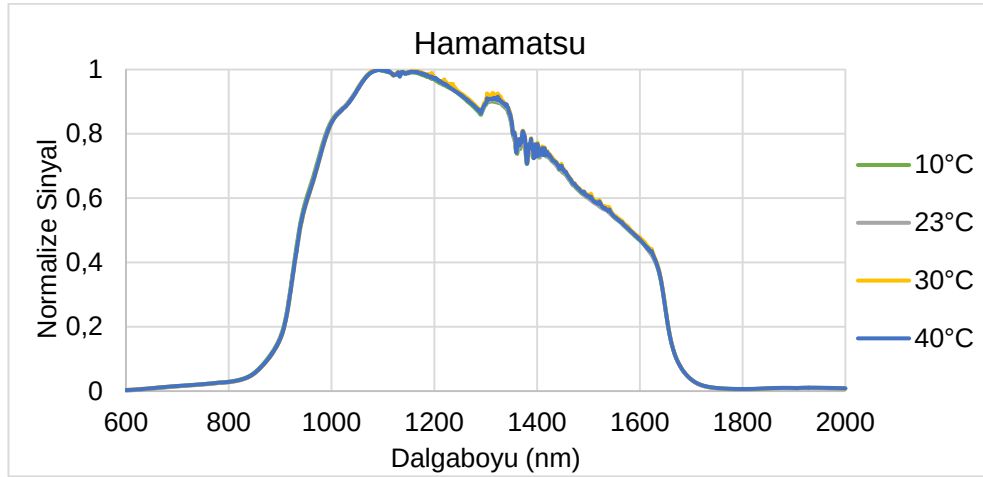
Şekil 9. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.



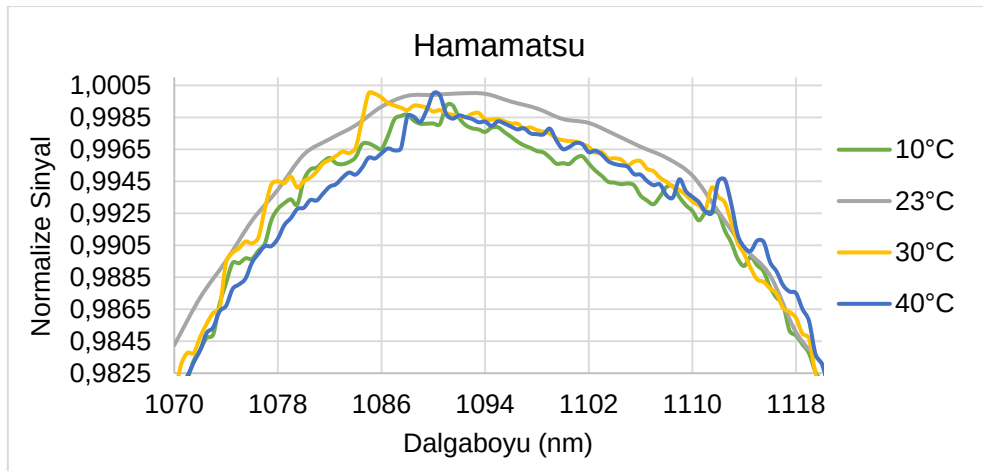
Şekil 10. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1070-1118) nm aralığında tepe değerleri.



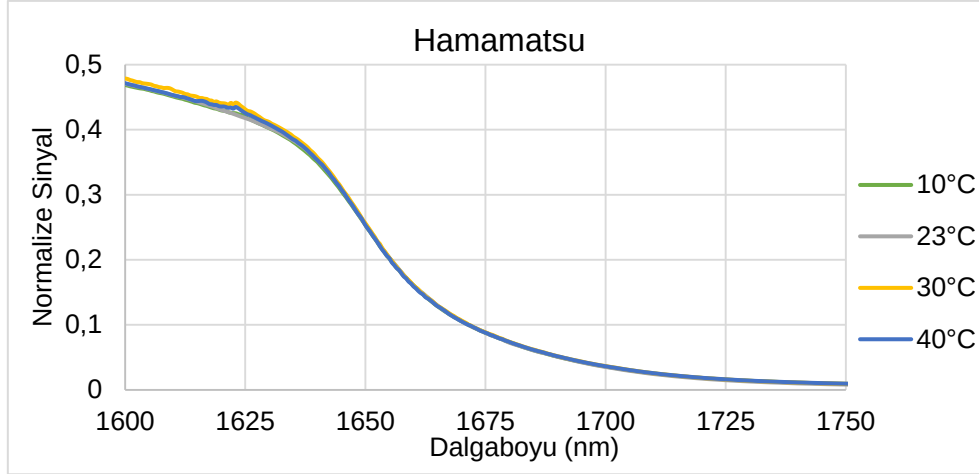
Şekil 11. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1600-1750) nm aralığında kuyruk değerleri.



Şekil 12. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.



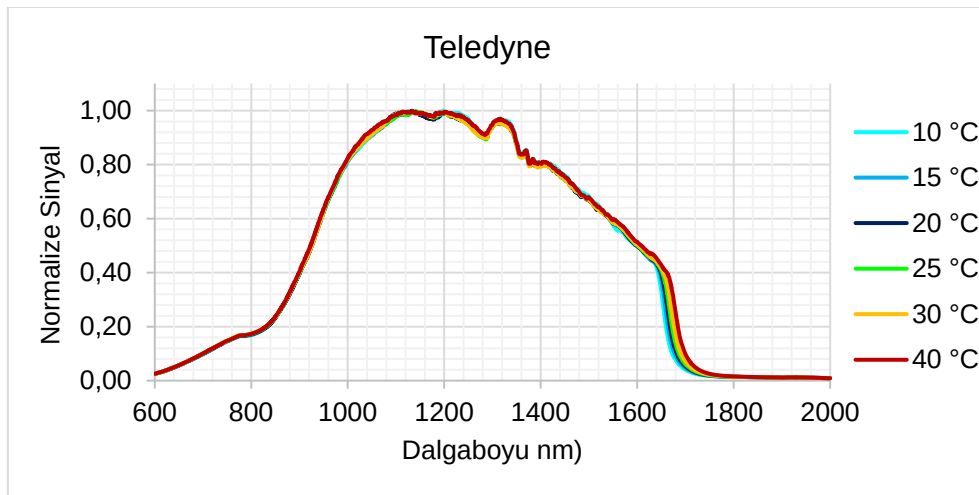
Şekil 13. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1070-1118) nm aralığında tepe değerleri.



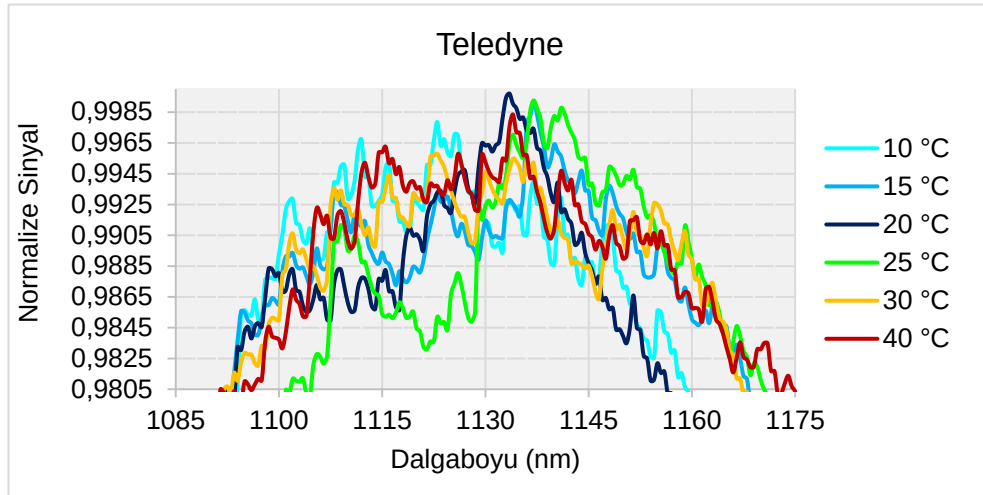
Şekil 14. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1600-1750) nm aralığında tepe değerleri.

Şekil 12-14, Hamamatsu dedektör soğutucu birimi açıkken elde edilen sonuçları göstermektedir. Dedektörün spektral duyarlılığının tepe dalga boyunun davranışı, soğutucu birim kapatıldığında elde edilenlere çok benzerdir, başka bir deyişle tepe dalga boyu konumunda ortam sıcaklığının değişmesi ile hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. Bununla birlikte, tayfsal duyarlılığın kuyruk bölgesindeki davranışı 1650 nm'nin üzerindeki dalga boylarında, Şekil 11'de elde edilenlerden tamamen farklıydı. Dedektör soğutucu birimi açıldığında, InGaAs dedektörünün tayfsal duyarlılığı ortam sıcaklığının değişmesine karşı kararlı bir davranış sergiledi. Şekil 13'den görülebileceği üzere ortam sıcaklığının değişmesi sonucunda dedektörün spektral duyarlılığının tepe dalga boylarında fark edilebilir bir değişim gözlenmese de, Şekil 11'de gösterildiği gibi ortam sıcaklığının artmasıyla tayfsal eğrinin kuyruğunda yaklaşık 1650 nm ve üzeri dalga boylarında genişleme meydana gelmiştir.

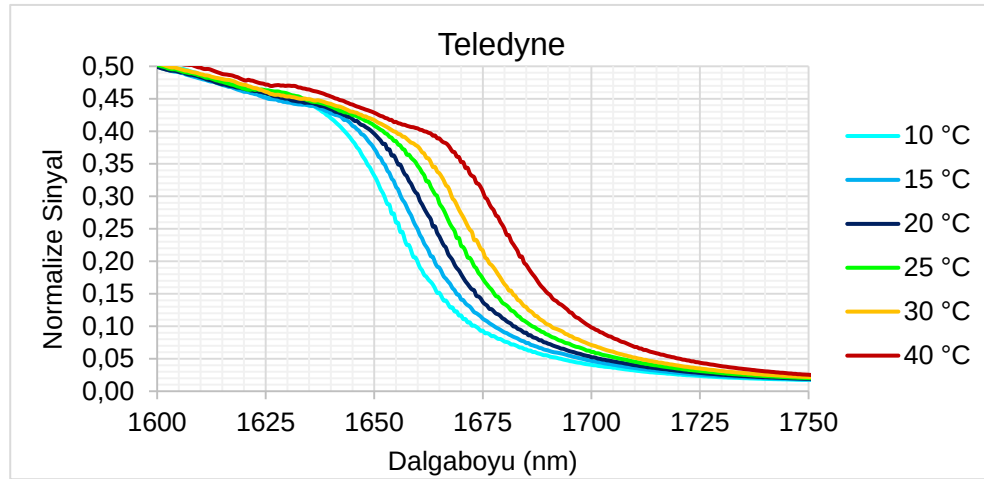
Teledyne dedektör sistemi için tayfsal duyarlılık ölçümleri de Hamamatsu dedektör sistemindeki ile aynı düzen ve sıra ile yapıldı. Teledyne dedektör sisteminin soğutucu devresi açılarak ve kapatılarak iki ölçüm seti gerçekleştirildi. Şekil 15-17, Teledyne dedektör soğutucu birimi kapatıldığında elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 17'den anlaşılacağı üzere, Hamamatsu dedektör ile yapılan ölçümlerdeki sonuçlara benzer biçimde, 1600 nm'nin üzerindeki dalga boylarında spektrumun kuyruk bölgesi civarında yüksek dalga boylarına doğru tayfsal kaymalar görülmektedir.



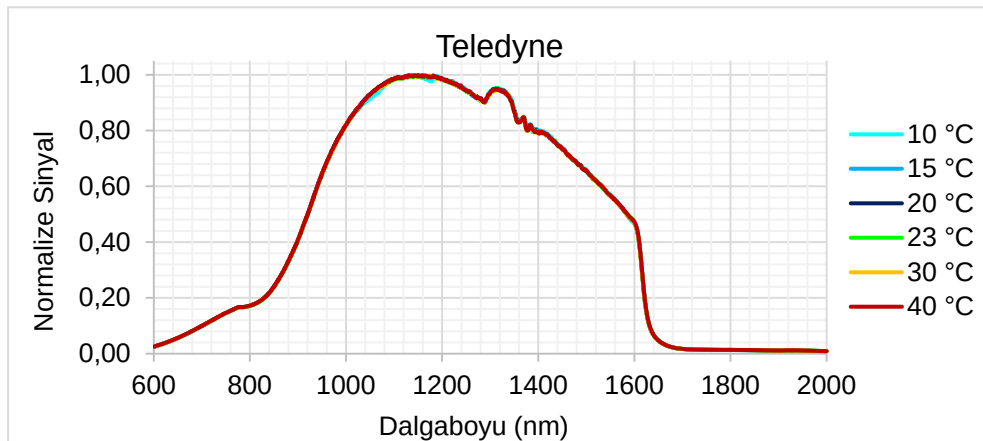
Şekil 15. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.



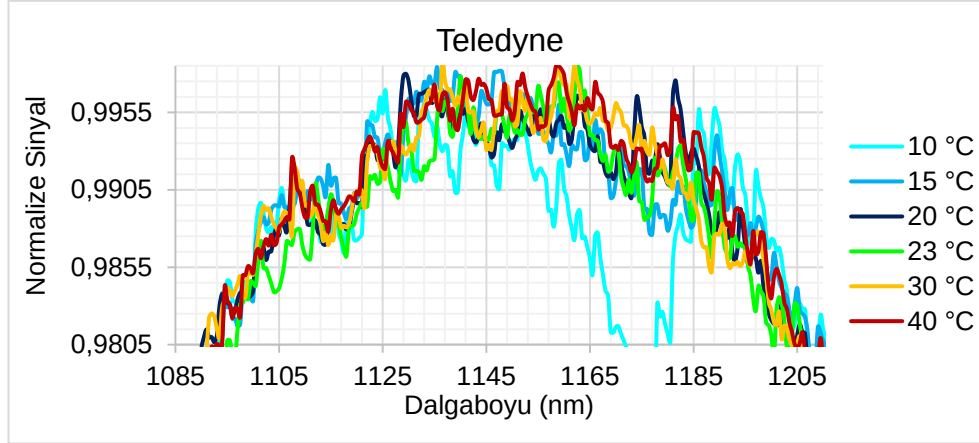
Şekil 16. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1085-1175) nm aralığında tepe değerleri.



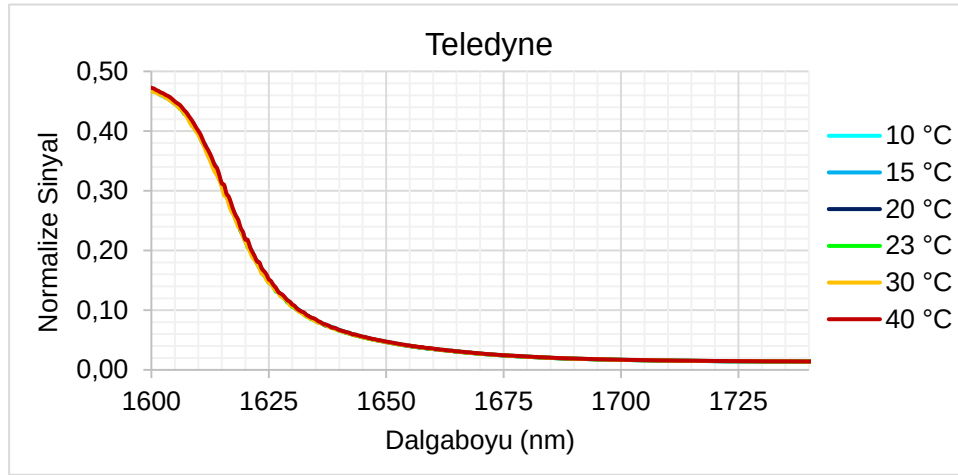
Şekil 17. Dedektör soğutucu birimi kapalıyken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1600-1750) nm aralığında kuyruk değerleri.



Şekil 18. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (600-2000) nm.

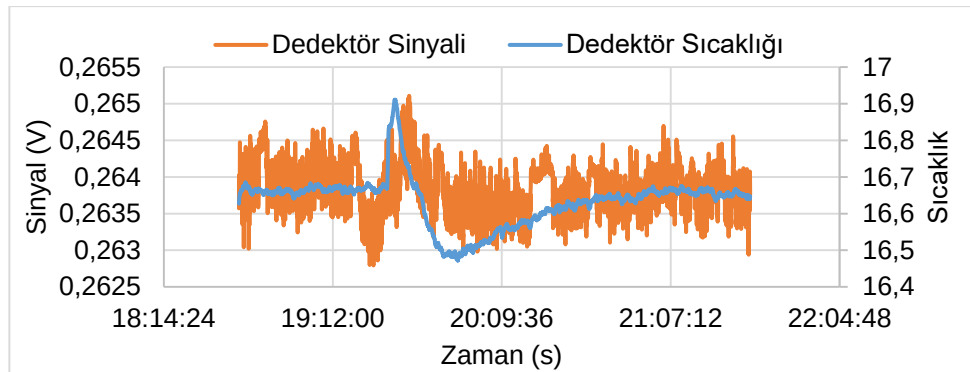


Şekil 19. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, (1085-1205) nm aralığında tepe değerleri.



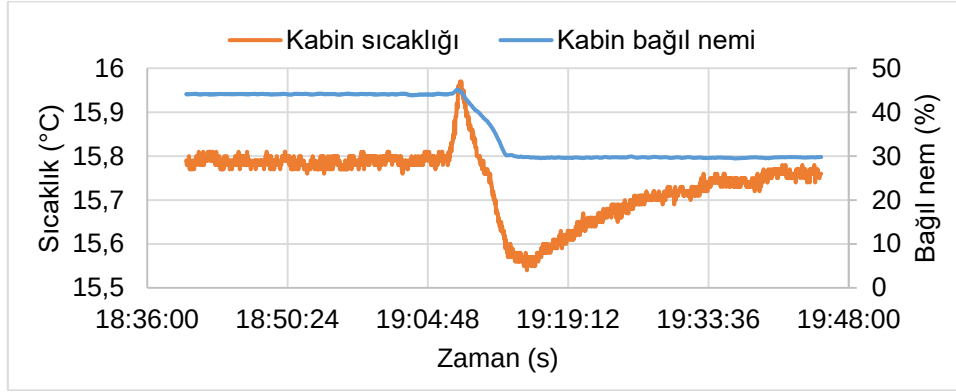
Şekil 20. Dedektör soğutucu birimi açıkken kaydedilen normalize edilmiş tayfsal duyarlılık ölçüm sonuçları, tam aralık (1600-1750) nm.

Şekil 18-20, Teledyne dedektörün soğutucu birimi açıkken elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 16 ve 19'dan görüldüğü üzere dedektörün spektral duyarlılığında tepe dalga boylarında, yine Hamamatsu dedektör sisteminde olduğu gibi ortam sıcaklığının değişmesi ile hiçbir değişiklik gözlenmemiştir. Tayfsal duyarlılığın kuyruk bölgesinde yani 1650 nm'nin üzerindeki dalga boylarında, dedektör soğutucu birimi kapalıyken gösterdiği tepkiden tamamen farklı olarak soğutucu birim açıkken alınan ölçümde spektral kayma meydana gelmemiştir (Şekil 20).

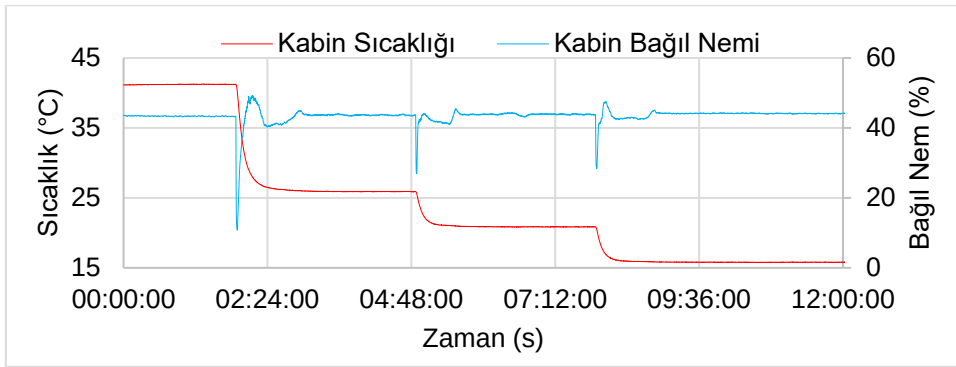


Şekil 21. Tledyne dedektörün 1100 nm dalga boyunda 15 °C'de kaydedilen kararlılığı.

Şekil 21’de bağıl nem ölçümlerine örnek olarak Teledyne dedektörün ortam şartı, 15 °C’de, 45 %rh bağıl nem değerinden 30 %rh bağıl nem değerine düşürülürken dedektörün bu değişimden etkilenmediği gözlenmiştir. Dedektördeki ihmal edilebilir salınımın sebebi kabinin bağıl nem değişiminden kaynaklanmaktadır. Şekil 22-23’te görüldüğü üzere kabin bağıl nem değeri değişirken, sıcaklıkta iklimlendirme kabininden kaynaklanan küçük salınımlara sebep olmaktadır. Ancak bu değişimin ortam şartları dengede iken hiçbir etkisinin olmadığı da gözlenmiştir.



Şekil 22. İklimlendirme kabininde sıcaklığının bağıl nem değişimine tepkisi.



Şekil 23. İklimlendirme kabininde bağıl nem değerinin, sıcaklık değişimine tepkisi.

SONUÇ

Her iki InGaAs fotodiyotunun bağıl tayfsal duyarlılığının ölçümleri, 10 °C ile 40 °C arasında değişen farklı ortam sıcaklıklarında gerçekleştirildi. Hamamatsu dedektör için UME’de yaptığımız sıcaklık kontrol devresi kapalı ve açık konumdayken iki ölçüm seti gerçekleştirilerek, bu ölçümlerin sonuçları karşılaştırıldı. Hazır alınan Teledyne dedektör sistemine ait sıcaklık kontrol devresi ile de iki ölçüm yapılarak sonuçlar karşılaştırıldı. Sıcaklık kontrol birimleri kapatıldığında, iki dedektörün de spektral duyarlılıklarının ortam sıcaklığının artmasıyla daha yüksek dalga boyuna kaydığı gözlenirken, sıcaklık kontrol devreleri açıldığında, 10 °C ile 40 °C arasındaki farklı çevresel sıcaklıklarda dedektörler çok kararlı tayfsal duyarlılık gösterdiler. Sabit ortam sıcaklığında 30 %rh ve 80 %rh bağıl nem değerleri arasında gerçekleştirilen ölçümlerinde, dedektörlerin bu değişimden etkilenmediği gözlemlendi.

KAYNAKLAR

- [1] P. Chen, A. Shen, X. Zhou, J. HU, "Bio-Raman spectroscopy: a potential clinical analytical method assisting in disease diagnosis, "Journal of Analytical Methods, cilt 3, ss. 1257-1269, 2011.
- [2] G. Boso, D. Ke, B. Korzh, J. Bouilloux, N. Lange, H. Zbinden, "Time-resolved singlet-oxygen luminescence detection with an efficient and practical semiconductor single-photon detector, "Biomedical Optics Express. Cilt 7, ss.211-224, 2016.
- [3] J. J. Burmeister, M. A. Arnold" Evaluation of Measurement Sites for Noninvasive Blood Glucose Sensing with Near-Infrared Transmission Spectroscopy," Clinical Chemistry, cilt 45 No. 9, ss. 1621-1627, 1999.
- [4] S. H. Yun, G. J. Tearney, B. E. Bouma, B. H. Park, J. F. de Boer" High-speed spectral-domain optical coherence tomography at 1.3 μm wavelength," Optics Express, cilt 11, ss. 3598-3604, 2003.
- [5] I. Pence, A. M. Jansen, "Clinical instrumentation and applications of Raman spectroscopy, "Chem. Soc. Rev., cilt 45, ss. 1958-1979, 2016.
- [6] T. Kawabata, T. Mizuno, S. Okazaki, et al., "Optical diagnosis of gastric cancer using near-infrared multichannel Raman spectroscopy with a 1064-nm excitation wavelength," Journal of Gastroenterology, cilt 43, ss. 283-290, 2008.
- [7] Y. K. Min, T. Yamamoto, E. Kohda, T. Ito, and H. Hamaguchi, "1064 nm near-infrared multi channel Raman spectroscopy of fresh human lung tissues," Journal of Raman Spectroscopy, cilt 36, pp. 73-76, 2005.
- [8] A. Prokhorov, V. Sapritsky, B. Khlevnoy, V. Gavrilov, "Alternative Methods of Blackbody Thermodynamic Temperature Measurement Above Silver Point, " Int. J. Thermophys., cilt 36, ss. 252-266, 2015.
- [9] S. Beguš, G. Begeš, J. Drnovšek, D. Hudoklin, "A novel NIR laser based sensor for measuring the surface moisture in polymers, " Sensors and Actuators A: Physical, cilt 221, ss. 53-59, 2015.
- [10] S. Yurtseven, M. Karabulut, S. Oguz Aytekin, H. Nasibov, "An Effect of ambient temperature and humidity on the spectral responsivity of InGaAs detectors," TEMPMEKO 2019, Chingdu, China, -to be published.
- [11] T. Ricolfi, F. Girard, "A transfer standard infrared thermometer for the temperature range 150 °C to 1000 °C, "Proceedings, TEMPMEKO'99 – 7th Intern. Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, cilt 2, ss. 593- 598, Delft 1999.
- [12] F. Girard, T. Ricolfi, "Simple Approach for Temperature Compensation in A Transfer Standard Radiation Thermometer" TEMPMEKO 2001 - 8 th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, Baskı 2, ss. 807- 810, 2001.
- [13] H. Nasibov, S. Ugur, "Characterization of The Pyrometers to The Subject Of Preamplifier Gain Nonlinearity, "Proceedings, XVII IMEKO World Congress, ss. 1702-1705, 2003.
- [14] H. Nasibov, A. Diril, O. Pehlivan, M. Kalemci, "Comparative Study of Two InGaAs-Based Reference Radiation Thermometers, "Int. J. Thermophys, cilt 38, No. 112, 2017.

ÖZGEÇMİŞ**Semih YURTSEVEN**

1991 yılı Giresun doğumludur. 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Metroloji Programında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2018 yılından beri TÜBİTAK-UME' de Sıcaklık Laboratuvarlarında çalışmaktadır.

Mevlüt KARABULUT

1969 yılı Artvin/Hopa doğumludur. 1991 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1999 yılında University of Missouri-Rolla, USA den doktora derecesini almıştır. GaSe, InSe tabakalı yarıiletken tek kristallerinin sentez ve karakterizasyonu, nükleer atıkların camlaştırılması, demir fosfat camlarının sentezi ve karakterizasyonu alanlarında çalışmalar yapmaktadır. Halen Gebze Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde çalışmalarına devam etmektedir.

Seda OĞUZ AYTEKİN

1969 yılı Ankara doğumludur. 1992 yılında ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü bitirmiştir. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Fizik ABD'da Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılında TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) Radyasyon Sıcaklığı Laboratuvarı'nda Araştırmacı olarak göreve başlamıştır. 2014 yılında Yeditepe Üniversitesinden Doktor unvanını "Nanosilisyum Nem Algılayıcılarının Üretimi ile Elektriksel ve Spektroskopik Karakterizasyonları" başlıklı tezini tamamlayarak almıştır. TÜRKAK akreditasyon denetimlerinde ISO/IEC 17025 standardına göre sıcaklık ve nem alanlarında denetçi olarak görev yapmaktadır. Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanında çeşitli makaleleri ve EURAMET kapsamında katılım sağladığı uluslararası projeleri bulunmaktadır. Ayrıca Sıcaklık ve Nem Metrolojisi alanlarında Danışmanlık ve Eğitim hizmetleri vermektedir.

Hümbet NASİBLİ

1992 yılında Bakü Devlet Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2000 yılında Azerbaycan Bilimler Akademisi, Fotoelektronik Enstitüsünde Deneysel Fizik Teknikleri ve Bilimsel Cihazlar konusu üzerine çalışmış ve PhD. unvanını almıştır. 1992-2001 yılları arasında Fotoelektronik Enstitüsünde Lazer Spektroskopisi bölümünde Optik Mühendisi olarak görev almıştır. 2001-2004 yılları arasında TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Uzman Araştırmacı olarak görev almıştır. 2004-2016 yılları arasında TÜBİTAK UEKAE' de Başuzman Araştırmacı olarak görev almıştır. Şu anda TÜBİTAK UME Sıcaklık Laboratuvarında Başuzman Araştırmacı olarak görevine devam etmektedir. Uygulamalı Lazer Fiziği, kızılötesi teknolojiler, optik ve termal görüntü işleme, sıcaklık ve optik metrolojisi için cihazlar ve sensörler üzerine çalışmaktadır.