




## Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Yerleşkesi'nin Boltwood Bulut Sensörü II (BWCS II) ile Bulutluluk Analizi

Esragül Atalay<sup>1</sup> , İlham Nasıroğlu<sup>2</sup> , Cahit Yeşilyaprak<sup>3</sup> 

<sup>1,2,3</sup>Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

<sup>3</sup>Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkez, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

### Makale Tarihiçesi

Gönderim: 10 Mayıs 2023

Kabul: 5 Eylül 2023

Yayın: 15 Mart 2024

### Araştırma Makalesi

**Öz** – Yer tabanlı astronomik gözlemlerde, gözlemevi ve yerleşkesindeki cihazların doğru çalışması ve verimli bir gözlem sonucu elde edilmesi için nem, rüzgâr, yağış, bulutluluk gibi meteorolojik olaylar büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle gözlemevinin kurulacağı yerleşkenin koşullarının meteorolojik olarak uygun olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, 2011 yılında Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM, Erzurum) tarafından başlatılan ve kurulumu devam etmekte olan Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) yerleşkesinin bulutluluk özelliklerinin belirlenmesi sonrasında kontrolünün devam edilmesi amaçlanmıştır. DAG, faaliyete geçtiğinde 4m çapıyla Türkiye'nin en büyük optik ve ilk kızılötesi teleskobuna sahip olacaktır. DAG'ın bulutluluk durumunun incelenmesi için yerleşkede bulunan Boltwood Bulut Sensör II (BWCS II) meteorolojik cihazından alınan ölçümler kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle BWCS II'den elde edilen verinin güvenilirliği için DAG yerleşkesinde bulunan ve Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından kalibre edilen Vaisala cihazı kullanılarak ölçümlerin doğruluğu kontrol edilmiştir. Vaisala cihazından alınan ölçümler ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda BWCS II'nin sıcaklık, nem ve çiy noktası ölçümlerini doğru yaptığı tespit edilmiştir. Yerleşkenin 2019 ve 2020 yıllarına ait günlük, aylık, mevsimlik ve toplamda yıllık olarak bulutluluk durumu incelenmiştir. BWCS II veriden elde edilen sonuçlara bakıldığında yerleşkenin bulutluluk durumunun yıl içerisinde %58,2 oranında açık olduğu bulunmuştur. Bu değer, BWCS II'nin veri sıklığı ve veri kaybı da dikkate alındığında gözlemler için iyi bir sonuç olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Atmosfer, Boltwood Bulut Sensör II, bulutluluk, DAG, gökyüzü sıcaklığı

## Cloudiness Analysis with Boltwood Cloud Sensor II (BWCS II) over Eastern Anatolia Observatory (DAG) Site

<sup>1,2,3</sup>Department of Astronomy and Space Sciences, Science Faculty, Atatürk University, Erzurum, Türkiye

<sup>3</sup>Astrophysic Research and Application Center (ATASAM), Atatürk University, Erzurum, Türkiye

### Article History

Received: 10 May 2023

Accepted: 5 Sep 2023

Published: 15 Mar 2024

### Research Article

**Abstract** – In ground-based astronomical observations, meteorological events such as humidity, wind, precipitation, and cloudiness are of great importance for the proper operation of the devices in the observatory and to obtain an efficient observation result. Therefore, the site conditions of the observatory should be suitable meteorologically. This study aims to continue the control of the Eastern Anatolia Observatory (DAG) site which was started by the Astrophysics Research and Application Center (ATASAM, Erzurum) in 2011 and continues to be established after determining the cloudiness characteristics. DAG is Turkey's first infrared and the largest optical telescope with a diameter of 4m. For the cloudiness of the DAG, analyses were made with the measurements taken from the Boltwood Cloud Sensor II (BWCS II) meteorological device located at the site. First of all, for the reliability of the data obtained from BWCS II, the accuracy of the measurements was checked using the Vaisala device, which is located on the DAG site and was calibrated by the Regional Directorate of Meteorology. Vaisala data showed that the BWCS II provides accurate temperature, humidity, and dew point

measurements. The daily, monthly, seasonal, and total annual cloudiness of the site for the years 2019 and 2020 was examined. Looking at the results obtained from the BWCS II data, it was seen that the site's cloudiness was 58.2% clear throughout the year. Considering the data frequency and data loss of BWCS II, showed that there was a good result for the observations.

**Keywords** – Atmosphere, Boltwood Cloud Sensor II, cloudiness, DAG, sky temperature

## 1. Giriş

Astronomi gök cisimlerinden gelen ışığı inceleyerek cisimlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştıran bilim dalıdır. Gök cisimleri elektromanyetik tayfın bütün dalga boylarında ışınım yapmasına rağmen, Dünya atmosferi gök cisimlerinden gelen tüm ışığı geçirmez. Bu nedenle yer atmosferi yer bazlı bir astronomik gözleminde yapılan astronomik gözlemleri kısıtlar veya tamamen engeller. Yeryüzüne kurulan teleskopların ortak sorunlarının başında yer atmosferinin sönmeme (saçılma ve soğurma) etkisi gelir. Bunun yanı sıra yeryüzündeki ışık kirliliği (aydınlatma sistemlerinin yanlış kullanımı), meteorolojik, atmosferik ve çevresel kirlilikler de astronomik gözlemler açısından büyük bir engel teşkil eder. Sadece radyo astronomide bulut, rüzgâr, yağış gibi hava şartları gözlem yapılmasına engel değildir. Ancak radyo astronomi hariç yer tabanlı gözlemler için hava şartları çok önemlidir ve birincil atmosferik parametre de bulutluluktur. Bulutlu havalarda bulut türü, konumu ve miktarı gözlem yapılmasına pek fazla olanak sağlamayabilir. Ayrıca bulut, nem, rüzgâr ve yağış gibi meteorolojik şartların bilinmesi yerleşkedeki cihazların verimli çalışmasına da katkı sağlar.

Astronomik gözlemlerin yapılabilmesi için bulut türü, miktarı ve değişimi gibi etkenler büyük bir öneme sahiptir. Bulutun tespit edilmesi, gözlem yapılacağı zamandaki bulut durumu bilgisi, astronomik gözlemler açısından önemi, hangi gece gözlem yapılıp yapılmayacağı ya da gökyüzünün hangi bölgelerinde ne kadar süreyle gözlem yapılabileceği bilgisiyle gözlem planı oluşturulabilir. Bu sayede teleskobun gözlem zamanı da verimli kullanılmış olur. Bulut modelleri, gri gövdeli yarısaydam yayıcılar olarak yapılır. Alçak ve orta bulut çok yayıcı olduklarından kolay algılanır. Yüksek seviyeli bulut ise daha az yayıcıdır ve tespit edilemez ama düşük sıcaklıkları nedeniyle gökyüzü ışınlamı üzerinde minimum da olsa etkileri vardır [1].

Bulut örtüsü gözlemleri 100 yılı aşkın süredir rasatçılar aracılığı ile yapılmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte bulut durumunun tespiti ve ölçümü için otomatik gözlemler yapacak cihazlar geliştirilmiştir. Uydu ölçümleri, yer tabanlı ölçüm cihazları gibi birçok teknolojik sistem geliştirilmiş ve ölçümler hem otomatik hem de daha kolay ve güvenilir bir hal almıştır. Gelişen uydu sistemlerinde de veri erişimi, kullanım yükü, çözünürlük, ölçüm hataları gibi dezavantaj oluşturan durumlar vardır [2]. Fakat yine de bu sistemlerin gelişmesi bulut gözlemlerini bambaşka bir boyuta taşımıştır. Özellikle astronomik gözlemlerde anlık durum bilgisi için yerleşkede bulunan yer tabanlı gözlem sistemleri oldukça işe yaramakta ve işleri daha kolay ve güvenilir hale getirmektedir. Atmosferde bulutluluğun hızlı değişim göstermesi nedeniyle sık bulut ölçümlerine ihtiyaç vardır. Ayrıca bulut tespitinde elektromanyetik spektrumun kullanılan dalga boyu aralığı önemlidir. Görünür bantta çalışan CCD kameralı görüntüleyiciler düşük maliyetli olmalarına rağmen bulut algılamada, Ay'ın konumu/evresi, ışık kirliliği ve diğer meteorolojik parametrelerden etkilendikleri için IR (Infrared-Kızılötesi) aralığında çalışan aletler kadar etkili ve güvenilir değildirler [3]. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan sinoptik gözlem (Dünya'nın her yerinden aynı anda, 6 saat arayla günde toplam 4 defa yapılan gözlemdir) raporları, bulut bilgisi için tüm Dünya'da ana kaynak olmuştur. Günümüzde ise 1995'ten bu yana havaalanlarında bulut örtüsü ve yüksekliğini ölçen "Otomatik Yüzey Gözlem Sistemleri (ASOS)" kullanılmaktadır [4]. 2005'ten bu yana Hollanda Kraliyet Meteoroloji Enstitüsünde (KNMI) kızılötesi ölçüm yapan bir aletten oluşan ve uzun dalga ışınımını ölçen "Temel Yüzey Işınım Ağı (BSRN)" kullanılmaktadır [5]. Atmosferik Fizik Enstitüsü tarafından "Taramalı Kızıl Ötesi Görüntüleme Sistemi (SIRIS)" adı verilen ve 8–12 µ IR dalga boyu aralığında ölçüm yapan ve termal parlaklık sıcaklığını ölçen bir sistem geliştirilmiştir [6]. Son yıllarda ise yer tabanlı

ölçümler, uydu ve radar ölçümleri gibi araçlarla atmosferik değerler elde edilmektedir. Bu ölçümler tarım, ulaşım ve astronomi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır [7].

Bu çalışma kapsamında, 39.760 Kuzey enlemi, 41.230 Doğu boylamında ve ~3170 m yükseltide yer alan Erzurum Konaklı Karakaya Tepeleri'ne kurulmakta olan DAG'ın bulunduğu yerleşkedeki BWCS II meteorolojik cihazıyla yapılan ölçümler ile bulutluluk durumu analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Gök cisimlerinden gelen enerji, atmosferden geçerken saçılma, soğurulma ve kırılma gibi çeşitli etkilere maruz kaldığı için yeryüzünden yapılan astronomik gözlemleri olumsuz etkiler. Ancak söz konusu etkiler yükseklik arttıkça yoğunluğun azalmasından dolayı yükselti ile ters orantılıdır. Bu nedenle, özellikle büyük çaplı teleskoplara sahip olacak olan gözlemevleri için yer seçimi çalışmaları yapılırken yüksek rakım tercih edilir. Gözlemevi yerleşkelerinde bulunması beklenen başlıca özellikler arasında; açık gece sayısının fazla olması, düşük astronomik görüş değerleri, ışık kirliliğinin olmaması, düşük aerosol miktarı, kararlı rüzgâr hızı ve yönü, yüksek rakım (ince ve temiz atmosfer tabakası) ve düşük nem şeklinde sıralanabilir. Teleskop barındıracak olan bir gözlemevi inşa etmeden önce; gözlemevi yerleşkesinde olması gereken özellikler dikkate alınır ve yer seçim çalışmaları yapılır. Özellikle büyük çaplı teleskoplar barındıran gözlemevi için bunlar büyük önem arz etmektedir. Ayrıca gözlemevi kurulabilmesi için yerleşkesinin altyapısı da önemli bir parametredir. Karakaya Tepeleri, rakımı (3170 m) ve şehrin bu tepelerin kuzeyinde kalmasından (şehrin genişleme yönünün aksine düşmesi yani ışık kirliliğinden şimdilik uzak olmasından) dolayı gözlemevi için uygun olduğuna karar verilerek yerleşke (2.510.000 m<sup>2</sup> alana sahip) Atatürk Üniversitesi'ne tahsis edilmiştir. DAG projesi kapsamında yapılmakta olan gözlemevi, Türkiye'nin ilk IR (NIR, <3 mikron) ve optik en büyük teleskobu (4m çaplı) olacaktır [8].

Bu çalışma kapsamında, çeşitli sensörler bulunduran aygıt(lar) kullanılarak, DAG yerleşkesinin bulutluluk analizi yapılmıştır. BWCS II meteorolojik aygıtı, kalibrasyonu Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılmış olan Vaisala meteorolojik aygıtı ile karşılaştırılarak doğruluğu test edilmiştir. Bu iki meteorolojik aygıt DAG yerleşkesinde kurulmuş olan DIMM (Differential Image Motion Monitor) kulesi üzerinde bulunmaktadır. DIMM kulesi, 2012 yılında DAG yerleşkesine kurulmuş ve 7 m yüksekliğe sahiptir [9].

#### 2.1.1. Boltwood Bulutluluk Sensörü

BWCS II, 8-14  $\mu$  dalga boyu aralığındaki gökyüzünün IR ışınımını algılayıp bulutluluk değerini ölçmek için tasarlanmış bir cihazdır. DAG yerleşkesine kurulan BWCS II, Şekil 1'de görüldüğü gibi 10 derecelik bir zenit uzaklığına sahip olacak şekilde güneye doğru yönlendirilmiştir. Bunun nedeni, yağmur ve kar gibi hava koşullarında aygıtın üzerine düşen suyun ıslaklık sensörünün yüzeyinden akmasını sağlamaktır. Ayrıca içerisinde yere doğru bakan gün ışığı sensörünün de doğru çalışması için görüş alanında bina, ağaç gibi nesnelerin olmaması ve zeminin yansıtıcı olmaması gerekmektedir [10].



**Şekil 1.** DAG yerleşkesinde bulunan Boltwood Bulutluluk Sensörü

BWCS II kızılötesi bir sensörle radyal ısıyı ölçerek bulut miktarını verebilir [11]. Bulut ölçümü yapmak için gelen ışınımı ölçerek gökyüzü sıcaklığı ( $T_{sky}$ ) adı verilen sıcaklığa dönüştürür ve daha sonra da ortam sıcaklığını ( $T_{amb}$ ) ölçüp iki sıcaklık değerini karşılaştırır.  $T_{sky}$ 'yi cihazın gökyüzüne bakan ucunda bulunan bir termopil sensör ile ölçer.  $T_{amb}$ 'yi ise cihazın gün ışığını doğrudan görmeyen yere bakan kısmında bulunan bir termistör yardımıyla ölçer. Daha sonra  $T_{sky}$ 'dan  $T_{amb}$ 'yi çıkararak aradaki farktan bulutluluk değerini, açık, bulutlu, çok bulutlu şeklinde verir. Genellikle farkın 0 ila  $-20$  °C olduğu aralık bulutlu ve  $-50$  °C'ye kadar düşük olduğu aralık ise açık gökyüzünü gösterir. Yani iki sıcaklık arasında fark ne kadar yüksek olursa gökyüzünün bulutlu olma ihtimali o kadar azdır [12]. BWCS II'nin çalışma kapsamında esas kullanım amacı, DAG yerleşkesi için gökyüzünün bulutluluk değerini elde etmektir. Bulutluluk durumu (cloudcon: cloud condition) için Tablo 1'de gösterildiği gibi cihaz  $T_{sky} - T_{amb}$  farkına göre 4 farklı kategorik değer üretir.

**Tablo 1.** BWCS II'den elde edilen sıcaklık farkına göre cloudcon değerleri ve anlamları

Cloudcon Değeri	Değerlerin Anlamı	Sıcaklık farkı aralığı
0	Ölçüm yapılamamış	$\pm 999,9$ ve $\pm 998$
1	Açık	-60 ile -25
2	Bulutlu	-25 ile -10
3	Kapalı	-10 'dan büyük

### 2.1.2. Gökyüzü Sıcaklığı ( $T_{sky}$ )

Güneş, Dünya'nın en önemli enerji kaynağı olup enerjisi çeşitli dalga boylarında elektromanyetik dalgalar halinde yeryüzüne ulaşır. Güneş'ten gelen enerjinin tayfsal dağılımı sabittir fakat atmosferden geçip yeryüzüne gelene kadar kırılma, yansıma, soğurulma, saçılma gibi etkilere uğrar. Güneş'ten gelen enerjinin bir kısmını soğuran atmosfer, kara cisim gibi davranarak bu enerjiyi elektromanyetik ışınım halinde yayar. Bu ışınım karşılık gelen sıcaklık ise gökyüzü sıcaklığı ( $T_{sky}$ ) olarak ifade edilir. Bulut atmosferde bir bariyer gibi davranarak yerden yayılan IR ışınımı geri yansır. Bu ışınım ölçülerek  $T_{sky}$  hesaplanır. Alınan veriye göre de gökyüzünün bulutluluk durumu hakkında bilgi elde edilir [13]. Yer ve gökyüzü arasındaki ışınım değişimleri, alınan global (toplam) ve yaygın Güneş ışınımına, hava sıcaklığına, neme ve rüzgâr yoğunluğuna konveksiyonla bağlı olacaktır [14].

$T_{sky}$ , kara cisim sıcaklığı pirometre adı verilen IR termometre ile ölçülebilir.  $T_{sky}$ 'ı ölçmek ve bulut tespiti yapmak için dar bir görüş alanına sahiptir. Bu cihazın içinde sadece uzun dalga ışınımını ölçen termopil bulunur. Bu ışınım, sensöre gelen ve sensörden giden uzun dalga ışınım akısı arasındaki net ışınımı ( $R_{sky}$ ) algılayıp voltaja dönüştürerek ölçer [15]. Elde edilen değer Stefan-Boltzmann yasası kullanılarak bir sıcaklık değerine çevrilir ve bu da “gökyüzü sıcaklığı” değeridir [16].

Bulut tespiti için ilk akla gelen, Ashley ve Jurcevic [17] yaptıkları çalışmadır. Bu çalışmayla, bulutun IR emisyonundan belirlenebileceğini ve bulutlu bölgenin daha fazla sinyal üreteceğini göstermişlerdir. İlerleyen zamanda bu çalışmadan yola çıkarak buluttan gelen sinyalin temel parametresi olan sıcaklığın, bulutun yüksekliği ve optik kalınlığına (veya emisyonuna), yerin sıcaklığına ve neme bağlı olduğu ile ilgili IR bulut detektör çalışmaları Clay [18] ve Buchley vd. [19] tarafından açıklanmıştır. Açık gökyüzünde bulutun varlığı gelişmiş bir sinyal üreterek bulut detektörlerinin gökyüzü sıcaklığına tepki veren IR sensöre dayalı cihazlar geliştirilmesi sağlanmıştır [18]. Clay [18], IR algılayıcı olarak termopil sensör kullanmıştır. Radyometrenin performansı üzerindeki etkilere izin vererek cihazın sıcaklığı kalibre edilir ve burada cihaz sıcaklığındaki 10 °C'lik bir değişiklik için belirtilen sıcaklıkta 1°C'lik değişiklik yapılır [18].

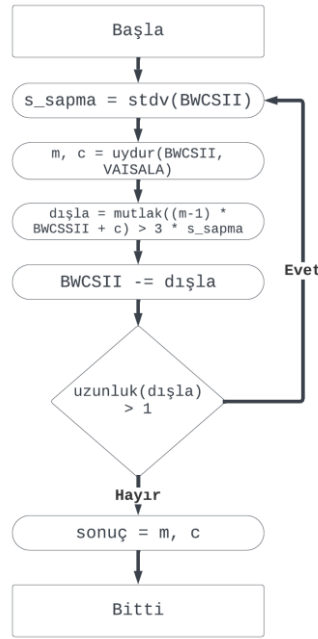
## 2.2. Yöntem

Bu çalışmada veri analizi için günümüzde popüler olarak kullanılan Python 3.13 programlama dili ve onun kütüphanelerinden faydalanılmıştır. BWCS II'den elde edilen, yalın metin biçiminde depolanmış ölçüm değerleri bir veri tabanına aktararak işlemler hızlandırmıştır. Veri tabanından veriyi aktarma, okuma ve ön işlem gibi işlem aşamalarında pandas kütüphanesinden faydalanılmıştır. Veride istatistiki hesapların tamamı (ortalama, ortanca, en küçük değer, en büyük değer gibi) Python'ın numpy ve pandas kütüphaneleri kullanılarak yapılmıştır. Veri uydurmalar (lineer fit gibi) için Python'ın scipy kütüphanesinden yararlanılmıştır. Zaman hesabı için Python'ın varsayılan kütüphanesi olan datetime yerine astropy kütüphanesi tercih edilmiştir. Veriyi görselleştirmek için ise, Python'ın matplotlib kütüphanesi kullanılmıştır.

DAG yerleşkesinin meteorolojik ölçümleri, yerleşkede bulunan AWOS, DAVIS, VAISALA, ASC ve BWCS II meteorolojik cihazları ile düzenli olarak alınmakta ve kaydedilmektedir. Bu çalışma kapsamında ise yerleşkenin bulutluluk durumu bilgileri için BWCS II cihazından alınan veri analiz edilmiştir. Analizi yapılan veri 2019 ve 2020 yıllarını kapsamaktadır. Veri analizine başlanmadan önce BWCS II'nin ölçümlerinin doğruluğu test edilmiştir. Sözü geçen verinin ayıklanması için alet uyarıları ve teorik limit hesaplanması olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır. Alet uyarıları, adından da anlaşılacağı gibi, cihazın kendi verisi içinde, her sensör için verdiği bayrak (flag) değeri vardır. Örnek olarak bulutluluk için; 0, 1, 2, 3 olmak üzere 4 bayrak değeri verilmektedir. Burada; “0” bilinmiyor, “1” açık, “2” bulutlu, “3” kapalı olduğunu gösterir. Çalışmamızda doğal olarak “0” bayrak değerine sahip ölçümler dışlanmıştır. Teorik limitler ise, BWCS II'nin ölçüm yaptığı dalga boyu aralığı bilindiğinden, söz konusu aralığın dışında kalan gökyüzü sıcaklığı ölçümleri de dikkate alınmamıştır.

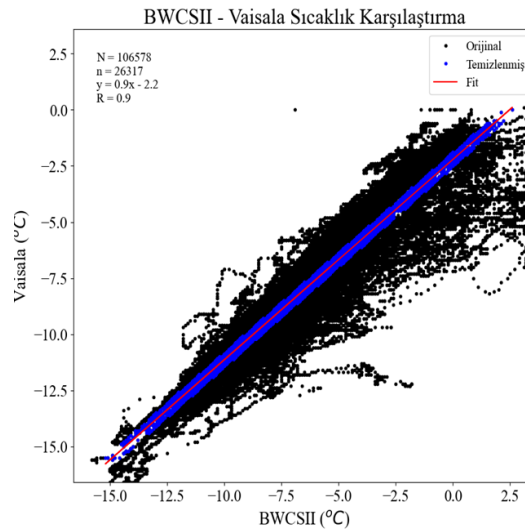
DAG yerleşkesinde bulunan VAISALA cihazının bakımı periyodik olarak MGM tarafından yapılmakta ve dolayısıyla güvenilir ölçüm sağlamaktadır. Bu nedenle BWCS II ve VAISALA meteorolojik aygıtlarının ortak olan ölçüm veri kullanılarak BWCS II'nin ölçümlerinin doğruluğuna bakılmıştır. İki cihazdan alınan ortak veri (sıcaklık, nem, çiy noktası ve rüzgâr hızıdır) için korelasyon analizinden faydalanılmıştır. Karşılaştırma verisi, BWCS II'nin sıcaklık verisinin alındığı zamana en yakın (5 saniyelik hata içerisinde kalan) VAISALA sıcaklık verisin tespiti ile elde edilmiştir. Daha sonra söz konusu veri setine doğrusal fit uygulanmıştır. Bu doğrusal fite, BWCS II ölçümlerinin standart sapmasının (SIGMA) 3 katından daha uzaktaki veri dikkate alınmamıştır.

Bu işlem atılan (dışlanan) hiçbir veri kalmayınca kadar tekrarlanmıştır. Şekil 2’de akış şemasında karşılaştırmanın nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



**Şekil 2.** BWCS II ve Vaisala Sıcaklık karşılaştırması için kullandığımız akış şeması

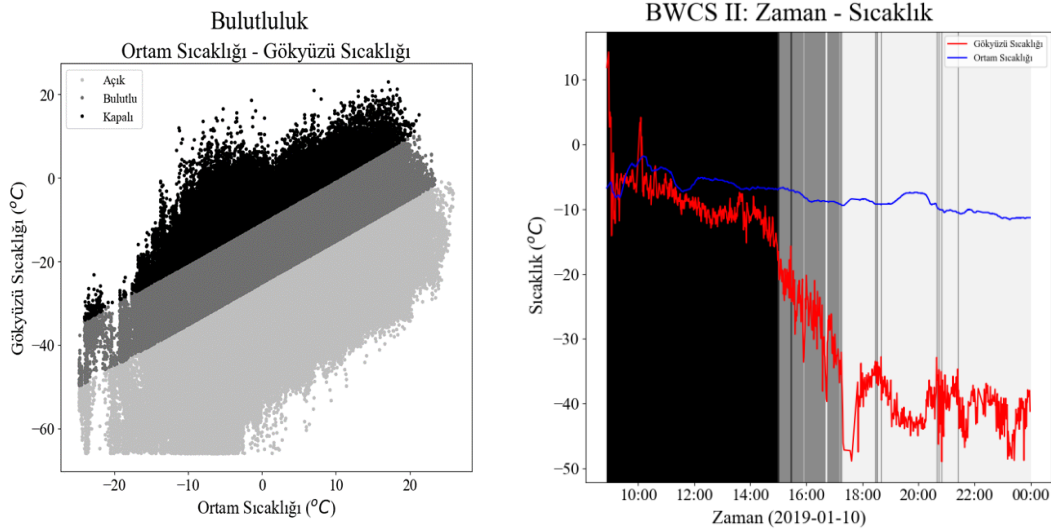
Aşağıda Şekil 3’te her iki cihazdan elde edilen sıcaklık değerlerinin bir karşılaştırılması verilmiştir. BWCS II’nin ölçtüğü sıcaklık değerlerinden bulutluluk hesaplandığı için de sıcaklık ölçümleri ele alınmıştır. Şekilde iki nicelik arasındaki korelasyonun niceliği verilmiştir. Grafikten iki cihazın sıcaklık değerleri arasında yüksek korelasyon ( $R=0.9$ ) olduğu görülebilir. Sıcaklıklar arasındaki lineer denklem,  $y = 0.9x - 2.2$  ile  $R = 0.9$  hesaplanmışken, nem için bu değerler  $y = 1.0x + 2.9$  ile  $R = 1$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ASC (All Sky Camera) görüntüleri ile de bulutluluk durumu karşılaştırması yapılarak cihazın güvenilirliğine karar verilmiştir.



**Şekil 3.** BWCS II ve Vaisala Sıcaklık karşılaştırması

Astronomik bir gözlemin yapılabilmesi için gökyüzünün açık olması gerekmektedir ve dolayısıyla bulutluluk durumu büyük önem arz etmektedir. Bu bilginin önceden bilinmesi gözlem zamanının verimli kullanılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle gözlemlerinde meteorolojik cihazlara da yer verilmektedir. Bir gözlemevi kurulmadan önce yer seçim çalışmaları yapılmaktadır. Yer seçimi çalışmalarında açık gün sayısının

fazlalığı önemli kriterlerden birisidir. Ayrıca kurulu bir gözlemevinin zaman içerisinde atmosferik şartlarının değişebilme ihtimali de vardır. Bunun için astronomik gözlemleri için bu tür çalışmalar periyodik olarak yapılmalıdır. Açık gün sayısını ve dolayısıyla potansiyel astronomik gözlem sayısını doğru bir şekilde belirlemek için güvenilir veri ile bulutluluk analizleri yapılmalıdır. Bu nedenlerle bu çalışmada DAG yerleşkesinde bulunan BWCS II'ye ait 2019 ve 2020 yıllarının veri kullanılarak yerleşkenin bulutluluk analizleri yapılmıştır.



**Şekil 4.** Gökyüzü sıcaklığına karşı ortam sıcaklığından elde edilen bulutluluk durumu (sol panel), sıcaklık farkından elde edilen bir günlük bulutluluk durumu (sağ panel)

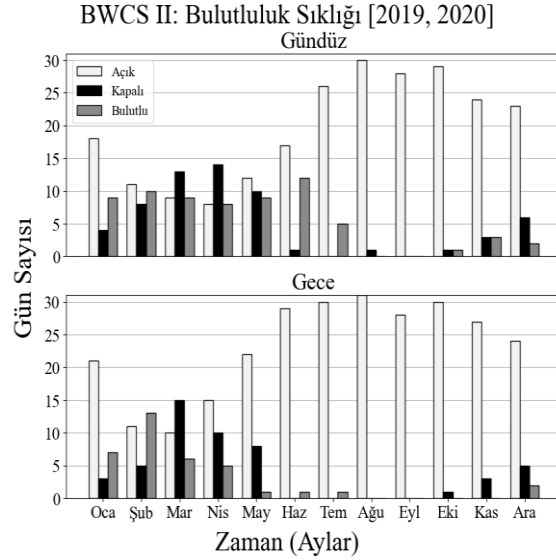
Şekil 4 sol grafikte 2019 – 2020 yılları için  $T_{sky}$ 'ya karşılık  $T_{amb}$  grafiğinden elde ettiğimiz bulutluluk durumu verilmiştir. Grafik incelendiğinde iki sıcaklık arasındaki farktan bulutluluk durumu açık, bulutlu ve kapalı olduğu aralıklar görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi aradaki sıcaklık farkı  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den küçük olduğunda gökyüzünün açık,  $-25$  ile  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında bulutlu ve  $-10$ 'dan büyük olduğu durumlarda ise tamamen kapalı olduğu görülmektedir. Yani İki sıcaklık arasındaki fark ne kadar büyükse gökyüzünün o kadar açık olduğu anlaşılır. Bu durumu daha iyi gösterebilmek için ayrıca sağ grafikte sadece bir günlük olarak incelenmiştir. Bunun için veri arasından en uygun gün yani gün içerisinde iki sıcaklık farkının en çok değişime uğradığı gün seçilmiştir. Şekil incelendiğinde iki sıcaklık değeri birbirine yaklaştıkça gökyüzünde bulut durumunun oluştuğu, fark arttıkça ise gökyüzünün daha berrak hale geldiği görülmektedir. Anlık da olsa bulutluluk arttığında sıcaklık değişiminin yaşandığı görülmektedir.

Astronomik gözlemlerde gece gökyüzü durumunun önemli olmasından dolayı veri gece ve gündüz olmak üzere iki ayrı şekilde incelenmiştir. Gece ve gündüz ayrımı her gün için astronomik tan zamanları hesaplanarak belirlenmiştir.

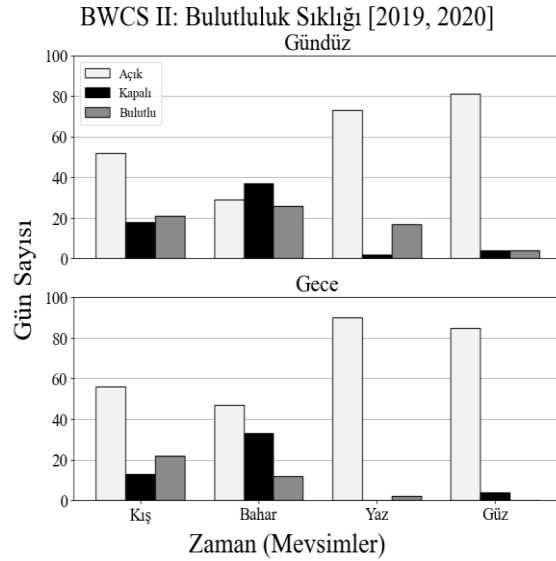
### 3. Bulgular ve Tartışma

Astronomide gece ve gündüz farklı gözlem türleri ve planları yapıldığı için bulut değerleri de gece ve gündüz olarak ayrı incelenmiştir. Bulutlu gün sayısı Şekil 5'te görüldüğü gibi gece ve gündüz ayrımı yapılarak aylık olarak verilmiştir. Benzer şekilde mevsimlik değişimler Şekil 6'da verilmiştir. Aylık ve mevsimlik grafiklerin değerleri de Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde hem gece hem de gündüz için Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık ayları havanın en fazla açık olduğu gün sayısına sahiptir. Ayrıca Ocak ve Haziran aylarında açık gün sayısının da yüksek olduğu görülebilir. En fazla kapalı gün olan aylar ise Mart, Nisan ve Mayıs olarak hesaplanmıştır. Ağustos ayında açık gün sayısı 30'a kadar çıkmıştır. Nisan ayında ise

açık gün sayısı 7'ye düşerek en az açık gün olan ay olduğu görülmektedir. Şekil 6 mevsimlik değerler incelendiğinde yaz ve güz mevsiminin açık gün sayısının fazla olduğu, bahar mevsiminde ise 30 günün biraz altına düştüğü görülmektedir. Özellikle yaz ve güz aylarında neredeyse 202'den az açık gün sayısı olmadığı görülmektedir. Bu değerlerin gece ile gündüz pek değişmediği görülmektedir. Tablo 2 ve Tablo 3'te aylık ve mevsimlik bulutluluk durumları gece ve gündüz olarak ayrı ayrı verilmiştir. Astronomik gözlemler için gece gökyüzünün açık olması gerekmektedir.



Şekil 5. DAG yerleşkesinde bulunan BWCS II'den alınan aylara göre bulutluluk sıklığı



Şekil 6. DAG yerleşkesinde bulunan BWCS II'den alınan mevsimlere göre bulutluluk sıklığı

Tablo 2 incelendiğinde gece zamanı bulutluluk durumu (ortalama %65) gündüz açık bulutluluk durumu (%51) yüksek olup gece ve gündüz kapalı değerler sırasıyla %16 ve %20 olarak hesaplanmıştır. Ortalama bulutlu değerler ise gece ve gündüz için sırasıyla %20 ve %29 olarak hesaplanmıştır. Astronomik gözlemlerin gece yapılması nedeniyle bu durum yerleşke için oldukça önemlidir. Veri setine yıllık olarak bakıldığında 2020 yılında açık hem gece (%68) hem de gündüz (%58) değerleri 2019 yılına ait değerlere (gece %62 ve gündüz %44) göre yüksek gerçekleşmiştir. Başka bir ifadeyle 2019 yılında kapalı ve bulutlu gün sayısı daha yüksek hesaplanmıştır. Gece zamanı için maksimum açık sayısı 2019 yılında %90.8 ile Ağustos ayında iken 2020 yılında %94.1 ile Ekim ayında hesaplanmıştır. Benzer şekilde minimum açık sayısı 2019 yılında %18.7 ile



Şubat ayında iken 2020 yılında %37.2 ile yine Şubat ayında gerçekleşmiştir. Gece zamanı için maksimum kapalı sayısı 2019 yılında %34.7 (Şubat) iken 2020 yılında %33.7 (Şubat) olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde gündüz değerleri ve daha fazla ayrıntı için Tablo 2'ye bakınız.

**Tablo 2.** Aylara göre gökyüzünün bulutluluk durumu

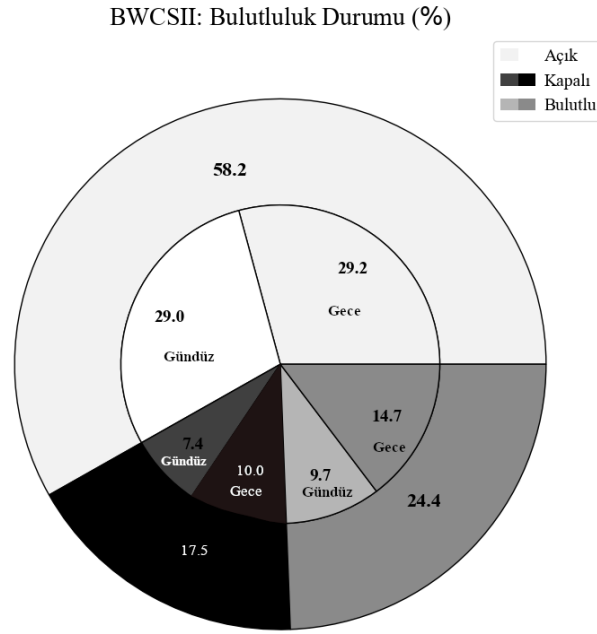
Yıl	Ay	Gece			Gündüz		
		Açık (%)	Bulutlu (%)	Kapalı (%)	Açık (%)	Bulutlu (%)	Kapalı (%)
2019	1	31.9	40.1	27.9	18.4	45.8	35.7
	2	18.7	46.6	34.7	15.1	43.9	41
	3	26.6	43.2	30.2	12.7	44.2	43
	4	52.8	25.3	21.9	24.3	39.6	36.2
	5	77.5	11.8	10.7	29.8	44.7	25.4
	6	72.7	19.8	7.5	39.8	48	12.2
	7	86.2	9.9	3.9	64.7	30.8	4.5
	8	90.8	7.2	2	71.7	25.1	3.3
	9	84.3	9.5	6.3	68.2	23.1	8.8
	10	74.8	14.8	10.5	63.5	21.6	14.9
	11	65.2	17.3	17.4	61.8	18.7	19.6
	12	56.7	18.4	24.9	60.2	16.4	23.4
2020	1	50.7	29.8	19.6	51.6	25.8	22.7
	2	37.2	43.2	19.6	31.1	38.1	30.8
	3	41.9	24.5	33.7	39.2	25.7	35.1
	4	45.6	22.9	31.5	31.7	27.1	41.2
	5	63.4	13.2	23.4	43.4	30.6	26
	6	86.3	11.2	2.5	56.3	36.4	7.3
	7	88.8	9.7	1.5	64.2	29.8	6
	8	87.9	7	5.1	75.7	19.2	5.1
	9	93.6	4.1	2.3	82.3	16.8	0.9
	10	94.1	3.1	2.8	87.7	10.1	2.3
	11	69	18.7	12.2	67.7	17.8	14.5
	12	59.4	19.3	21.3	62.9	11.2	25.9

**Tablo 3.** Mevsimlere göre gökyüzünün bulutluluk durumu

Yıl	Mevsim	Gece			Gündüz		
		Açık (%)	Bulutlu (%)	Kapalı (%)	Açık (%)	Bulutlu (%)	Kapalı (%)
2019	Kış	25	43.5	31.5	16.6	44.7	38.7
	Bahar	49.3	28.6	22.1	22.3	42.8	34.9
	Yaz	84.4	11.5	4.1	59.9	33.8	6.3
	Güz	75.2	13.8	11	65	21.6	13.5
2020	Kış	48.5	30.5	21	46.9	27.6	25.5
	Bahar	49.4	20.6	29.9	38.1	27.9	33.9
	Yaz	87.7	9.2	3.2	65.3	28.6	6.1
	Güz	85.1	8.9	6	79.9	14.7	5.4

Tablo 3'ten mevsimsel değerler incelendiğinde açık değerler yaz ve güz mevsimlerinde yüksek iken bahar ve kış mevsimlerinde daha düşük ölçülmüştür. En küçük açık değeri %25 ile 2019 Kış mevsimi iken en yüksek açık sayısı %87.7 ile 2020 Yaz mevsimi olarak gerçekleşmiştir. Genel olarak Kış ve Bahar mevsimlerinde

kapalı ve bulutlu değerleri yüksek olup daha az sayıda astronomik gözlem zamanı ve diğer mevsimlerde daha az bulutluluk ve daha fazla astronomik gözlem fırsatları olacaktır.



**Şekil 7.** DAG yerleşkesinde bulunan BWCS II'den alınan bulutluluk durumu

Şekil 7'de ise toplam bulutluluk durumu yüzde oranlarla verilmiştir. Şekil 7'deki bulutluluk durumunu incelediğinde açık günlerin %58.2 olduğu ve bunun %29.2'sinin gece, %29'unun da gündüz olduğu görülmektedir. Aynı şekilde gökyüzünün kapalı (çok bulutlu) olduğu durum için %10 gece, %7.4 gündüz olarak toplamda %17.5 olduğu görülmektedir. Benzer şekilde yerleşkenin bulunduğu alanda gökyüzünün bulutlu olması durumunun %14.7 gece ve %9.7 gündüz olarak toplamda %24 olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

DAG için daha önce yer çalışmaları yapılmış ve 3170 m yükseklikte olan Erzurum Konaklı/Karakaya Tepeleri'nin IR gözlemleri için uygun olduğu belirlenmiştir. BWCS II ile elde edilen veri analiz edilmiş ve yerleşkenin astronomik gözlemler için bazı özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışma ilk ışığını almaya hazırlanan DAG için yerinde ölçümlerle yerleşke atmosferini bulutluluk bakımından analiz eden en son çalışmadır. Bu çalışma hem yerleşkenin güncel karakteristik durumunu ortaya koymakta hem de cihaz ve ölçüm yöntemleri ile ilgili bilgiler sunmaktadır.

Yapılan analizlerde gökyüzü ve ortam sıcaklığı ölçümleri kullanılmıştır. Özellikle IR bölgede gözlem yapacak teleskoplar için IR ışınının su buharı tarafından soğurulması nedeniyle nem ve bulutluluk durumu çok önemlidir. Bulutluluk durumu için üç farklı durum söz konusudur. Bunlar açık, bulutlu ve kapalı olarak verilmiştir. Analizler sonucunda toplam açık gün değerinin %58.2, bulutlu olarak ölçülen değer %24.3 ve kapalı olarak ölçülen değerlerin ise %17.5 olduğu görülmüştür. Özellikle yaz aylarında havanın %87'sinden fazlasının açık olduğu görülmüştür. Bulutluluk durumu incelendiğinde yüksek bulut değerlerinin daha çok gündüz olduğu ve düşük bulut değerlerinin gece olduğu görülmüştür. Ayrıca 2020 yılında açık gün sayısının daha fazla olduğu yani bulutluluk durumu önceki yıla göre azalma göstermiştir.

Analizler sonucunda bulutluluk durumunun incelenmesiyle %58'den fazla açık değerlerin olduğu görülmüştür. Yapılan tüm analizler sonucunda DAG yerleşkesinin hem görsel hem de IR gözlemleri için gerekli hava koşullarına sahip oldukça iyi bir gökyüzüne sahip olduğunu görülmüştür.

## Yazar Katkıları

Tüm yazarlar çalışmanın konusunun belirlenmesi, yürütülmesi, planlanması ve sonuçların değerlendirilerek çalışmanın makale haline getirilmesini sağlamıştır. Birinci yazar çalışmanın yönteminin belirlenip materyalinin hazırlanmasını sağlamış ve analizleri gerçekleştirmiştir. Tüm yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamıştır. Bu makale, ilk yazarın ikinci yazar danışmanlığındaki yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar hiçbir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

## Teşekkür

Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM)'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışma, Doğu Anadolu Gözlemevi (DAG) Projesi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 2011K120230

## Kaynaklar

- [1] P. Berdahl, R. Fromberg, *The thermal radiance of clear skies*, Solar Energy 29 (4) (1982) 299–314.
- [2] C. N. Long, J. M. Sabburg, J. Calbó, D. Pagès, *Retrieving cloud characteristics from ground-based daytime color all-sky images*, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 23 (5) (2006) 633–652.
- [3] D. Pérez-Ramírez, R. J. Nemiroff, J. B. Rafert, *Nightskylive.net: The night sky live project*, Astronomische Nachrichten: Astronomical Notes 325 (6-8) (2004) 568–570.
- [4] B. Dürr, R. Philipona, *Automatic cloud amount detection by surface longwave downward radiation measurements*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 109 (D5) (2004) 9 pages.
- [5] R. Boers, M. J. De Haij, W. M. F. Wauben, H. K. Baltink, L. H. Van Uft, M. Savenije, C. N. Long, *Optimized fractional cloudiness determination from five ground-based remote sensing techniques*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 115 (D24) (2010) 16 pages.
- [6] W. X. Zhang, D. R. Lü, Y. L. Chang, *A feasibility study of cloud base height remote sensing by simulating ground-based thermal infrared brightness temperature measurements*, Chinese Journal of Geophysics 50 (2) (2007) 339–350.
- [7] K. Kaba, C. Yeşilyaprak, *Validation of CM SAF Cloud Fractional Cover (CFC) Data and Analysis of CM SAF CFC Data for the Eastern Anatolia Observatory (DAG) Site*, Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences 7 (3) (2021) 304–318.
- [8] Atatürk Üniversitesi Astrofizik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ATASAM), DAG Özet (2020), <https://atasam.atauni.edu.tr/dag/>, 10 Mayıs 2023 tarihinde erişildi.
- [9] Y. Güney, *The atmospheric seeing measurements for eastern Anatolia observatory site*, Doctoral Dissertation Atatürk University, (2021) Erzurum.
- [10] Diffraction Limited, Cloud Sensor II User's Manual (2012), <https://diffractionlimited.com/wp-content/uploads/2016/04/Cloud-SensorII-Users-Manual.pdf>, 10 Mayıs 2023 tarihinde erişildi.
- [11] Y.-H. Bae, J. H. Jo, H.-S. Yim, Y.-S. Park, S.-Y. Park, H. K. Moon, Y.-J. Choi, H.-J. Jang, D.-G. Roh, J. Choi, M. Park, S. Cho, M.-J. Kim, E.-J. Choi, J.-H. Park, *Correlation Between the "seeing FWHM" of Satellite Optical Observations and Meteorological Data at the OWL-Net Station, Mongolia Journal of*

Astronomy and Space Sciences 33 (2) (2016) 137–146.

- [12] A. Gwynne, *Cloud detection system for the Mt Kent observatory*, Bachelor's Thesis University of Southern Queensland (2005) Toowoomba.
- [13] R. Sloan, J. H. Shaw, D. Williams, *Infrared emission spectrum of the atmosphere*, Journal of the Optical Society of America 45 (6) (1955) 455–460.
- [14] L. Adelard, F. Pignolet-Tardan, T. Mara, P. Lauret, F. Garde, H. Boyer, *Sky temperature modelisation and applications in building simulation*, Renewable Energy 15 (1-4) (1998) 4188–430.
- [15] O. Gliah, B. Kruczek, S. G. Etemad, J. Thibault, *The effective sky temperature: an enigmatic concept*, Heat and Mass Transfer 47 (9) (2011) 1171–1180.
- [16] R. Tang, Y. Etzion, I. A. Meir, *Estimates of clear night sky emissivity in the Negev Highlands, Israel*, Energy Conversion and Management 45 (11-12) (2004) 1831–1843.
- [17] M. C. B. Ashley, J. S. Jurcevic, *A cloud detector for automated telescopes*, Publications of the Astronomical Society of Australia 9 (2) (1991) 334–335.
- [18] R. Clay, *Cloud monitoring for large cosmic ray sites*, in: D. Kieda, M. Salamon, B. Dingus (Eds.), 26th International Cosmic Ray Conference (ICRC26), Salt Lake City, Utah, 1999, p. 421.
- [19] D. J. Buckley, M. C. Dorrington, P. J. Edwards, T. J. L. McComb, S. P. Tummey, K. E. Turver, *Measurement of sky clarity using MIR radiometers as an adjunct to atmospheric Čerenkov radiation measurements*, Experimental Astronomy 9 (4) (1999) 237–249.