

Güneş Enerjisi Tesislerinde Kullanılacak Meteorolojik Sensörler için Şartname Taslağı



Nisan 2026

Çorum, Türkiye

İÇİNDEKİLER

1. GENEL HÜKÜMLER	4
1.1. Tanımlar, Kısaltmalar ve Standartlar	4
1.1.1. Tanımlar	4
1.1.2. Kısaltmalar	4
1.1.3. Standartlar ve Referans Dokümanlar	6
1.2. Kapsam	7
1.3. Amaç	7
1.4. Çevresel Koşullara Uyumlu Sensör Seçimi	8
1.5. Doküman ve Onay Süreci	9
2. SİSTEM GENEL GEREKSİNİMLERİ	10
2.1. Sahada Kullanılacak Sensör Tipleri, Sınıfları ve Adetleri	10
2.1.1. Sensör Adetleri	11
2.2. Kalibrasyon Gereklilikleri	12
2.3. Haberleşme Protokolleri	12
2.4. SCADA/Monitoring Entegrasyonu	13
2.5. Güç Besleme	13
2.6. Kablo ve Konnektör Gereksinimleri	14
2.7. Genel Mekanik Montaj Kuralları	15
2.8. Topraklama ve Koruma	16
3. IŞINIM SENSÖRÜ (REFERANS HÜCRE)	18
3.1. Kullanılacak Sensör Adedi	18
3.2. Teknik Özellikler	18
3.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon	19
3.4. Montaj ve Yerleşim Koşulları	20
4. PİRANOMETRE	21
4.1. Standartlar ve Referanslar	21
4.2. Teknik Özellikler	21
4.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon	22
4.4. Montaj ve Yerleşim Koşulları	22
5. ALBEDOMETRE	23
5.1. Teknik Özellikler	23
5.2. Montaj ve Yerleşim Koşulları	24

6. TOZ (KİRLİLİK TESPİT) SENSÖRÜ	25
6.1. Otomatik ve Manuel Toz Sensörleri	25
6.1.1. Standartlar ve Uygunluk	25
6.1.2. Teknik Özellikler.....	25
6.1.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon	26
6.2. Taşınabilir Toz Sensörü	26
6.2.1. Teknik Özellikler.....	27
7. PANEL SICAKLIK SENSÖRÜ	28
7.1. Standartlar ve Uygunluk	28
7.2. Teknik Özellikler.....	28
7.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları	29
8. ORTAM SICAKLIK SENSÖRÜ	30
8.1. Standartlar ve Uygunluk	30
8.2. Teknik Özellikler.....	30
8.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları	30
9. BAĞIL NEM SENSÖRÜ	32
9.1. Standartlar ve Uygunluk	32
9.2. Teknik Özellikler.....	32
9.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları	32
10. RÜZGÂR HIZ SENSÖRÜ	34
10.1. Standartlar ve Uygunluk	34
10.2. Teknik Özellikler.....	34
10.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları	35
11. RÜZGÂR YÖN SENSÖRÜ.....	36
11.1. Standartlar ve Uygunluk	36
11.2. Teknik Özellikler.....	36
11.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları	37
12. YAĞMUR SENSÖRÜ	38
12.1. Standartlar ve Uygunluk	38
12.2. Teknik Özellikler.....	38
12.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon	38
12.4. Montaj ve Yerleşim Koşulları	39
12.5. Bakım ve Periyodik Kontrol Gereklilikleri.....	39

13. KAR SENSÖRÜ	40
13.1. Teknik Özellikler.....	40
13.2. Kalibrasyon ve Sertifikasyon	41
13.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları	41
14. KOMPAKT HAVA İSTASYONU.....	42
14.1. Standartlar ve Uygunluk	42
14.2. Haberleşme	42
14.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları	42
15. GARANTİ VE BAKIM	43
15.1. Garanti Süresi.....	43
15.2. Yedek Sensörler.....	43
15.3. Bakım ve Temizlik Periyotları	44
16. DOKÜMANTASYON.....	45



1. GENEL HÜKÜMLER

1.1. Tanımlar, Kısaltmalar ve Standartlar

1.1.1. Tanımlar

Bu şartname kapsamında kullanılan temel terimler aşağıdaki anlamları ifade eder:

GES (Güneş Enerjisi Santrali): Fotovoltaik modüller aracılığıyla güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren tesislerin tamamını ifade eder.

Sensör: GES sahasında çevresel veya performansla ilişkili bir fiziksel büyüklüğü ölçen ve bu veriyi veri toplama sistemine aktaran ölçüm cihazını ifade eder.

SCADA: Sensörlerden ve saha ekipmanlarından veri toplayan, bu verileri izleyen, kaydeden ve üst seviye izleme sağlayan merkezi denetim ve veri toplama sistemini ifade eder.

Data Logger: Sensörlerden gelen verileri belirli zaman aralıklarıyla toplayan, kaydeden ve gerekirse üst sistemlere aktaran veri toplama cihazını ifade eder.

Kalibrasyon: Bir sensörün ölçüm çıktısının, izlenebilir bir referansa göre doğrulanması ve gerektiğinde düzeltilmesi işlemi ifade eder.

Doğrulama: Sensörün sahada beklenen ölçüm performansını sağladığının kontrol edilmesi işlemi ifade eder.

Belirsizlik: Ölçüm sonucunun gerçek değerden sapma aralığını ifade eder.

Çözünürlük: Sensörün ayırt edebildiği en küçük ölçüm değişimini ifade eder.

Azimut: Sensörün veya PV modül düzleminin yatay düzlemde baktığı yönü ifade eder.

Tilt (Eğim Açısı): Sensörün veya PV modül düzleminin yataya göre eğimini ifade eder.

Daisy Chain: Birden fazla cihazın aynı haberleşme hattı üzerinde seri bağlandığı bağlantı yapısını ifade eder.

1.1.2. Kısaltmalar

Bu bölümde, şartname kapsamında kullanılan teknik terimler ve ifadelerde geçen kısaltmalar ile bunların açıklamaları verilmiştir.

Kısaltma	Açılımı
AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
AWG	American Wire Gauge
BOS	Balance of System (Sistem Yardımcı Bileşenleri)
DC	Direct Current (Doğru Akım)

Kısaltma	Açılımı
ESD	Electrostatic Discharge (Elektrostatik Deşarj)
EFT/Burst	Electrical Fast Transient / Burst (Hızlı Geçici Gerilim Darbeleri)
GES	Güneş Enerjisi Santrali
GHI	Global Horizontal Irradiance (Küresel Yatay Işınım)
HMI	Human Machine Interface
IP	Ingress Protection (Koruma Sınıfı)
I ² C	Inter-Integrated Circuit
Modbus RTU	Remote Terminal Unit tabanlı Modbus haberleşme protokolü
O&M	Operation and Maintenance (İşletme ve Bakım)
Pulse	Darbe çıkışı
POA	Plane of Array (Panel Düzlemi Işınımı)
PR	Performance Ratio (Performans Oranı)
PT1000	1000 ohm nominal dirençli platin sıcaklık sensörü
PUR	Polyurethane (Poliüretan)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
RH	Relative Humidity (Bağıl Nem)
RTD	Resistance Temperature Detector (Dirençli Sıcaklık Dedektörü)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi)
SPD	Surge Protective Device (Aşırı Gerilim Koruma Cihazı)
SunSpec	Güneş enerjisi ekipmanları için standart veri modeli
UV	Ultraviyole

1.1.3. Standartlar ve Referans Dokümanlar

Bu şartname kapsamında kullanılacak sensörler, ekipmanlar, montaj uygulamaları, kalibrasyon işlemleri ve performans değerlendirmeleri, aksi ayrıca belirtilmedikçe, aşağıdaki standartların güncel sürümlerine uygun olmalıdır.

Uluslararası standart kuruluşları aşağıda verilmiştir:

- **ISO** International Organization for Standardization
- **IEC** International Electrotechnical Commission

Bu kuruluşlara ait ve şartname kapsamında kullanılan başlıca standartlar aşağıda listelenmiştir:

IEC 61724-1

Fotovoltaik sistemlerin performans izlenmesine yönelik ölçüm gereklilikleri, sensör doğruluk sınıfları, veri toplama ve kalite kriterleri, çevresel parametrelerin izlenmesi ve performans değerlendirme yöntemleri için esas alınır.

IEC 60904-2

PV referans cihazlarının özellikleri ve kalibrasyon gereklilikleri için esas alınır.

ISO 9060

Piranometrelerin sınıflandırılması ve performans kriterleri için esas alınır.

ISO 9847

Piranometrelerin kalibrasyon yöntemleri için esas alınır.

IEC 60751

PT1000 tip platin direnç termometrelerin doğruluk sınıfları için esas alınır.

ISO/IEC 17025

Kalibrasyon laboratuvarlarının yeterliliği ve akreditasyon gereklilikleri için esas alınır.

IEC 62548

PV sistem kurulum ve saha uygulamaları için referans alınır.

1.2. Kapsam

Bu dokümanın amacı, **Güneş Enerji Santrallerinde (GES)** kullanılan **tüm çevresel parametreleri ölçen sensörlerin**; uluslararası standartlara uygun olarak seçilmesini, kurulmasını, kalibre edilmesini ve işletilmesini sağlamak üzere teknik gereklilikleri tanımlamaktır. Sensörlerden elde edilen verilerin doğru, izlenebilir ve güvenilir olması, GES performansının değerlendirilmesi, enerji üretim tahminlerinin oluşturulması, arıza tespiti, verim kayıplarının belirlenmesi ve işletme optimizasyonu açısından büyük önem taşır.

Bir şartname taslağı olan bu doküman, aşağıdaki sensörleri kapsar:

- **Işınım Sensörü** — Referans Hücre veya PV Piranometre olarak adlandırılır ve panel açısında ölçüm (POA) için kullanılır
- **Piranometre** — Yatayda Küresel Işınım ölçümü-GHI- için kullanılır
- **Panel Sıcaklık Sensörü**
- **Ortam Sıcaklık Sensörü**
- **Nem Sensörü**
- **Rüzgâr Hız Sensörü**
- **Rüzgâr Yön Sensörü**
- **Albedometre** — Çift yüzlü panellerde iki yüze gelen ışınım (POA) değeri ölçer ve oranını hesaplar
- **Toz (Kirlilik Tespit) Sensörü** — Panel yüzeyinde meydana gelen kirlenmenin ne kadar enerji kaybına neden olduğunu ölçer
- **Yağmur Sensörü**
- **Kar Sensörü** — Panel üzerinde oluşan kar örtüsünün panellerde ne kadar enerji kaybına neden olduğunu hesaplar

1.3. Amaç

Bu sensörlerin GES projelerinde kullanımının ana amacı tesisin Performans Oranını (PR) hesaplamaktır. Bu oran IEC 61724-1 standardına göre hesaplanır. Bazı sensörler hesaplamaya doğrudan katılmasalar dahi çıkan PR değerinin yorumlanmasında ve anlamlandırılmasında kullanılırlar.

Performans Oranı (PR): GES'ten elde edilen gerçek AC enerji çıktısının, panel yüzeyine gelen ışınım (POA) ve sistemin nominal kurulu gücü temel alınarak hesaplanan teorik üretime oranı olarak tanımlanır. PR hesaplaması farklı periyotlar için yapılabilir. Aşağıdaki formül PR hesaplaması için IEC standardından alınmıştır.

$$PR = \frac{\sum_k (P_{out,k} \cdot \tau_k)}{\sum_k (P_0 \cdot \frac{G_{i,k}}{G_{i,ref}} \cdot \tau_k)}$$

Formülde görüldüğü üzere sensörlerden gelen **sadece** Işınım (POA) ve Panel Sıcaklık verisi kullanılmaktadır. Diğer sensörlerden gelen herhangi bir değer formülde doğrudan yer almamaktadır. Fakat sadece ışınım ve panel sıcaklık verisine bağlı yapılacak bir PR değerlendirmesi oldukça zayıf kalacaktır. Diğer çevresel parametrelerin ölçümü PR'da oluşan değişimleri anlamak ve anlamlandırmak için kullanılır. Örneğin, PR'daki düşüş toz sensöründen gelen yüksek değerle orantılıysa bu düşüşün nedeni tozlanma olarak değerlendirilebilir. Eğer toz sensöründe böyle bir durum yok ise o zaman diğer sensör verilerine

bakmak gerekir. Eğer tüm sensörlerden gelen veriler performans düşüşünü açıklamıyor ise o zaman tesisin ekipmanları (inverter, panel, kablo...) kontrol edilip düşüşün nedeni araştırılmalıdır.

Sensör verileri problemin hangi ekipmandan olduğunu söyleyemez ama tesiste bir problemin olduğunu PR değeriyle ortaya koyar. Eğer PR değeri normal değerinin altına düştüyse ve bu düşüşü açıklayacak bir sensör verisi yok ise bu tesis ekipmanlarında bir sorun olduğunu gösterir. Problemin varlığını bilmek çözümünün ilk adımındır. Kısaca, GES projelerinde sensör kullanımının ana amacı tesis performansını hesaplamak ve değerlendirmektir.

Bu doküman, sensörlerin seçiminden kurulumuna, işletme sürecinden bakım ve kalibrasyon döngülerine kadar tüm teknik gereksinimleri tanımlar ve yüklenicinin karşılaması gereken minimum kalite standartlarını belirler. Bu şartname taslağı ile GES projelerinde uzun vadeli performans izleme verilerinin güvenilirliği artırılmakta, sistem kayıpları şeffaf şekilde takip edilmekte ve uluslararası finansman/denetim gerekliliklerine uygun bir ölçüm altyapısı oluşturulması hedeflenmektedir.

1.4. Çevresel Koşullara Uyumlu Sensör Seçimi

Bu şartname taslağı kapsamında Güneş Enerjisi Santrallerinde kullanılacak sensörlerin seçiminde, kurulacağı saha koşulları ve dış çevresel etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Sensörler, kurulacağı bölgenin iklimsel özelliklerine göre uzun süreli çalışmayı garanti edecek mekanik dayanım, sıcaklık toleransı ve nem direncine sahip olmalıdır. Santralin tasarımında ve ekipman seçiminde bu kriterler göz önünde bulundurulmalı ve ilgili proje şartnamesinde açıkça yazılmalıdır.

Kurulum yapılabilecek saha tipleri; karasal sahalar, yüksek sıcaklık içeren çöl benzeri bölgeler, yüksek rakımlı alanlar, tuzlu hava etkisine maruz bölgeler ile yüzer GES (floating PV) uygulamalarını kapsamaktadır. Bu nedenle sensörlerin çalışma aralıkları; yüksek sıcaklık dalgalanmaları, yoğun UV maruziyeti, rüzgâr yükleri, kar yükü ve tozlanma gibi dış etkenlere karşı yeterli dayanımı sağlayacak şekilde proje şartnamesinde belirtilmelidir.

Yağmur, kar, dolu, yoğun nem ve yağışma gibi meteorolojik etkiler sensör performansını doğrudan etkileyebileceğinden tüm meteorolojik ve PV performans ölçüm sensörlerinin uygun **IP koruma sınıfına** sahip olması esastır. Karasal kurulumlarda toza ve su sıçramalarına karşı IP54 koruma genellikle yeterliyken, yüzer GES uygulamalarında sensörlerin suya yakın veya su üstünde bulunması nedeniyle daha yüksek seviyede (IP67, IP68 gibi) su geçirmezlik gerekmektedir.

Soğuk iklim, yüksek rakım ve yoğun kar/buzlanma görülen bölgelerde piranometre, ışıyım sensörü, rüzgâr hız/yön sensörleri gibi belirli bileşenlerin **ısıtmalı modellerinin** tercih edilmesi gerekebilir. Isıtmalı sensörler; yüzeyde buzlanma, çığ oluşumu veya kar tabakası birikimini önleyerek doğru ölçüm alınmasını sağlar. Bu tür sensörlerde ısıtıcılar genellikle termostat kontrollüdür ve dış ortam sıcaklığı belirli bir seviyenin altına düştüğünde otomatik olarak devreye girer.

Rüzgâr yükü, panel eğim açısı değişimleri, direk montajlarındaki titreşimler ve yapısal stabilite gibi mekanik etkenler de montaj tasarımında dikkate alınmalıdır. Ayrıca yoğun tozlanma ve kirlenme, özellikle piranometre ve ışıyım sensörlerinde ölçüm hatalarına yol açabileceğinden, çevresel koşullara bağlı olarak bakım ve temizlik periyotları planlanmalı, tercihen otomatik temizlemeli ürünler tercih edilmelidir.

Bu kapsamda sensörlerin çevresel koşullara karşı güvenli, kararlı ve uzun ömürlü çalışmasını sağlamak amacıyla minimum koruma seviyeleri ve fiziksel dayanım gereklilikleri ilerleyen bölümlerde sensör türlerine göre detaylandırılacaktır.

1.5. Doküman ve Onay Süreci

Yüklenici, şartname kapsamında temin edeceği tüm sensörler ve ilgili ekipmanlara ilişkin **teknik dokümanları, sertifikaları ve çizimleri** işverene sunmakla yükümlüdür.

Yüklenici tarafından sağlanacak dokümanlar en az aşağıdaki içerikleri kapsamalıdır:

- Ürün teknik veri sayfaları (datasheet)
- Ürün montaj kılavuzları
- Elektrik bağlantı şemaları
- Haberleşme protokolü ve konfigürasyon kılavuzları
- Kalibrasyon sertifikaları ve laboratuvar akreditasyon belgesi
- Data logger uyumluluk belgesi
- Garanti belgeleri
- Tesiste kullanılacak sensör seçimine bağlı olarak ek dokümanlar sunulmalıdır. Bu dokümanlar ilgili sensör bölümlerinde belirtilmiştir.

Yüklenici tarafından sunulan tüm dokümanlar işveren veya işveren temsilcisi tarafından incelenerek onaylanacaktır. Doküman onayı, yalnızca içeriğin şartnameye uygunluğunu teyit eder; sensörlerin performans, dayanım veya sahaya uygunluk sorumluluğunu ortadan kaldırmaz.

Dokümanların eksik olması, uygunsuz bulunması veya teknik olarak yetersiz görülmesi halinde işveren, yükleniciden gerekli düzeltmeleri yapmasını talep edecektir. Düzeltmeler yapıldıktan sonra dokümanlar tekrar işveren onayına sunulmalıdır.

2. SİSTEM GENEL GEREKSİNİMLERİ

2.1. Sahada Kullanılacak Sensör Tipleri, Sınıfları ve Adetleri

GES sahasında kullanılacak sensörler; ışınım, sıcaklık, rüzgâr, nem, yağış, tozlanma gibi meteorolojik veya PV performansı ile ilişkili parametrelerin izlenmesi amacıyla kurulmaktadır. Sensör türleri ve teknik özellikleri belirlenirken **IEC 61724-1 Performans İzleme Standardı** esas alınır. Bu standart, performans izleme sistemlerini doğruluk seviyelerine göre sınıflandırmakta ve özellikle **Class A** ve **Class B** izleme sistemleri için kullanılacak ışınım sensörlerine ilişkin teknik gereklilikleri tanımlamaktadır. Aşağıdaki tabloda, IEC 61724-1 standardında verilen esaslar doğrultusunda Class A ve Class B izleme sistemleri için öngörülen ışınım sensörü gereklilikleri özetlenmiştir.

Bu tabloda iki tip Işınım sensörü mevcuttur ve IEC 61724-1 standardına göre ikisinden bir tercih edilebilir.

PV Referans Hücre tipi Işınım Sensörü, panel düzlemine gelen güneş ışınımını (Plane of Array – POA) ölçen yeni (2000’li yıllarda geliştirilmiş) bir teknoloji ürünüdür. PV tesislerin ihtiyaçlarına göre tasarlanmıştır. Örneğin; birçok harici sensör bağlanarak tek bir Modbus hattıyla verileri taşıyarak ekonomik bir çözüm sunar. Fotovoltaik yapısı sayesinde güneş panelleriyle aynı özellik ve davranışlara sahiptir.

Piranometre, çok daha önce (1900’lü yılların başında geliştirilmiş) meteorolojik ihtiyaçlara yönelik tasarlanmış GHI (Global Horizontal Irradiance – Küresel Yatay Işınım) ölçümüne özel bir sensördür.

Bu teknoloji farkı iki ürünün fiyatları arasında 6 kata kadar fiyat farkı oluşturabilmektedir. Piranometre endüstride bilinen uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan bir üründür. PV Referans Hücre tip Işınım sensörü ise yeni bir ürün olup sadece PV sistemler özelinde POA ölçümü için tasarlanmıştır.

Bu nedenle tesislerde POA ölçümü için PV Referans Hücre tipi Işınım sensörü, GHI ölçümü için ise Piranometre kullanılması makuldür. Bu nedenle **1 adet Piranometre ve 1 adet PV Referans Hücre** tipi Işınım sensörü kullanılması önerilir. Tesis büyüklüğüne ve yönelim adedine göre PV Referans Hücre tipi Işınım sensörü adedi artırılabilir.

Sensör Tipi	Class A İzleme Sistemi	Class B İzleme Sistemi
Piranometre	<p>POA veya GHI: ISO 9060:2018’e göre Class A (Secondary Standard), spektral olarak düz piranometre kullanılmalıdır.</p> <p>Kalibrasyon belirsizliği \leq %2 (1000 W/m²), Ölçüm aralığı \geq 1 500 W/m², Çözünürlük \leq 1 W/m² olmalıdır.</p>	<p>ISO 9060:2018’e göre Class C veya daha iyi piranometre kullanılmalıdır.</p> <p>Kalibrasyon belirsizliği \leq %3 (1000 W/m²) Ölçüm aralığı \geq 1 500 W/m², Çözünürlük \leq 1 W/m² olmalıdır.</p>
PV Referans Hücre	<p>IEC 60904-2’ye uygun, kalibre edilmiş çalışma referans sensörü kullanılabilir.</p> <p>Kalibrasyon belirsizliği \leq %2 (1000 W/m²), Ölçüm aralığı \geq 1 500 W/m², Çözünürlük \leq 1 W/m² olmalıdır.</p>	<p>IEC 60904-2’ye uygun çalışma referans sensörü kullanılabilir.</p> <p>Kalibrasyon belirsizliği \leq %3 (1000 W/m²), Ölçüm aralığı \geq 1500 W/m², Çözünürlük \leq 1 W/m² olmalıdır.</p>

IEC 61724-1 standardında ayrıca **Class C** izleme seviyesi tanımlanmakla birlikte, bu seviye için sensör türleri ve teknik gereklilikler Class A ve Class B’de olduğu gibi ayrıntılı tablolarla verilmemektedir. Class C izleme seviyesi, temel performans takibi amacıyla kullanılan, daha düşük doğruluk gereksinimlerine sahip izleme uygulamalarını ifade etmekte olup, detaylı sensör sınıflandırmaları ve ölçüm belirsizlikleri IEC 61724-1 kapsamında sınırlı düzeyde ele alınmaktadır.

2.1.1. Sensör Adetleri

Sahada kaç adet sensör kullanılacağı; **santral gücü, arazi büyüklüğü, dizi yerleşimi, yönelim ve eğim farklılıkları** gibi saha özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. IEC 61724-1 Performans İzleme Standardı, sensör yerleşimine ilişkin önerileri Class A izleme seviyesi için tanımlamakta olup, diğer izleme sınıfları için sensör adetlerine yönelik sayısal bir yönlendirme vermemektedir. Bu kapsamda, MW birimi cinsinden saha büyüklüklerine göre IEC standartlarında Class A için önerilen sensör sayıları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Işınım sensörleri için en az iki adet kullanılması tavsiye edilir. Çünkü sensör bozulması, veri doğrulaması ve kalibrasyon sürecinde sahada yedek sensör bulunması gibi nedenlerden dolayı iki adet ışınım sensörü kullanılması gerekmektedir.

SENSÖR TİPİ	Sistem Büyüklüğü (AC)					
	<40 MW	40 MW ≤ <100 MW	100 MW ≤ <300 MW	300 MW ≤ <500 MW	500 MW ≤ <700 MW	700 MW ≤
PİRANOMETRE	2 adet	3 adet	4 adet	5 adet	6 adet	7, her ek 200 MW için artı 1 adet
İŞİNİM SENSÖRÜ (REFERANS HÜCRE)						
ALBEDOMETRE*	6 adet	9 adet	12 adet	15 adet	18 adet	21, her ek 200 MW için artı 3 adet
MODÜL SICAKLIK SENSÖRÜ						
ORTAM SICAKLIK SENSÖRÜ	2 adet	3 adet	4 adet	5 adet	6 adet	7, her ek 200 MW için artı 1 adet
ORTAM NEM SENSÖRÜ						
RÜZGÂR HIZ SENSÖRÜ						
RÜZGÂR YÖN SENSÖRÜ						
TOZ SENSÖRÜ						
YAĞMUR SENSÖRÜ						
KAR SENSÖRÜ						

*Çift yüzlü panel uygulamalarında POA albedometre veya arka yüz ışınım sensörü (ışınım sensörü panellerin arka yüzüyle aynı açıya bakacak şekilde montaj edilir) kullanılabilir.

Bu şartname taslağı kapsamında tüm sensörler ilgili bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacak olup, burada belirtilen sensör sınıfları ve adetlere ilişkin genel yaklaşım, **IEC 61724-1’in ölçüm sınıfları, sensör doğruluk seviyeleri ve temsil noktası kriterlerine uygunluk** amacı taşımaktadır. Sensör yerleşim planı, yüklenici tarafından hazırlanacak detaylı saha analizine ve işveren onayına tabi olacaktır. Sensörlerin sahada yerleştirileceği konumlar oldukça önemlidir. Sensörler sahada orantılı şekilde dağıtılmalıdır. Aynı

tip sensörler bir noktada yoğunlaşmamalıdır. Eğer 6 adet panel sıcaklık sensörü var ise bu sensörler sahada birbirlerine eşit mesafelerde sahanın tüm bölgelerine dağıtılmış olmalıdır.

2.2. Kalibrasyon Gereklilikleri

Özellikle ışınım ölçümünde kullanılan sensörler kesinlikle kalibrasyon sertifikalarıyla İşveren Temsilcisine teslim edilmelidir. Kalibrasyonlar fabrika laboratuvarlarında yapılabilir. Fakat bu laboratuvarlar ISO17025 standardına göre **en az bir parametreden akredite** olmalıdır. ISO17025'e göre herhangi bir akreditasyonu olmayan laboratuvarda yapılan kalibrasyonlar kabul edilmemelidir. Bu akreditasyon laboratuvarın kalibrasyon konusunda yetkinliğini gösterir. Sensörlerin onay sürecinde ilgili doküman İşveren Temsilcisine sunulmalıdır.

Piranometre, albedometre ve diğer ışınım sensörleri için kalibrasyon gereklilikleri, ISO 9060 ve IEC 60904-2 standartlarında tanımlanmıştır. Bu standartlara göre yapılmayan kalibrasyonlar kabul edilmez. Class A izleme seviyesinde kullanılan ışınım sensörleri için periyodik yeniden kalibrasyon gerekliliği **iki (2) yıldır.**

Tozlanma seviyesi yüksek, sıcaklık farklarının belirgin olduğu veya UV maruziyetinin yoğun olduğu sahalarda, sensör performansının sahada daha sık doğrulama kontrolleri ile izlenmesi tavsiye edilir.

Sıcaklık, rüzgâr, nem, yağış ve benzeri yardımcı meteorolojik sensörler için periyodik yeniden kalibrasyon zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu sensörler, üretici tarafından tavsiye edilen periyotlarla veya işveren tercihinin bağlı periyodik kalibrasyon veya doğrulamaya tabi tutulmalıdır. Bu periyot 5 yıldan uzun olmamalıdır.

Sahada yapılan kontroller kapsamında sensörlerin mekanik montaj durumu, kurulum açıları, kablolama bütünlüğü ve fiziksel temizliği **haftalık olarak** kontrol edilmelidir. Ölçüm performansını etkileyebilecek olağan dışı durumların tespiti hâlinde ilgili sensör için düzeltici işlem uygulanmalıdır.

Yüklenici, sensörlerin fabrika kalibrasyon bilgilerini ve varsa ışınım sensörlerine ait periyodik kalibrasyon planını dokümanla etmekle yükümlüdür. Kalibrasyon geçerliliği sona eren veya ölçüm güvenilirliği sağlamayan sensörler sahadan kaldırılmalıdır.

2.3. Haberleşme Protokolleri

Sensör ile veri toplama sistemleri (data logger, SCADA RTU veya inverter içi girişler) arasındaki tercih edilebilir haberleşme arabirimleri aşağıdaki kapsamda tanımlanır. Bu konuda belirleyici faktör sensörlerin bağlanacağı veri toplama sisteminin hangi tip ve protokolde veri kabul edeceği. Sensörler ile veri toplama sisteminin haberleşme tip ve protokolü **aynı olmak zorundadır.** Ayrıca sensör üreticisi ilgili data logger markasıyla uyumlu olduğunu gösterir ve data logger üreticisinden alınan belgeyi İşveren Temsilcisine onay aşamasında sunmalıdır.

RS-485 / Modbus RTU

- GES sahalarda en yaygın ve güvenilir kablolu haberleşme ara birimidir.
- Yaklaşık 1 km'ye kadar olan mesafelerde, **çoklu sensör zincirlemesine (daisy chain)** olanak sağlar ve yüksek elektromanyetik dayanım sunar.
- Orta ve büyük ölçekli sahalarda **birincil haberleşme yöntemi** olarak tercih edilir.

- Parazit etkilerine karşı bükümlü çift ve ekranlı kablo kullanımı zorunludur.

Analog Çıkışlar (4–20 mA veya 0–10 V)

- Kısa mesafeli bağlantılarda ve gerçek zamanlı, düşük gecikmeli ölçüm gerektiren uygulamalarda kullanılabilir.
- IEC 61724-1 kapsamında Class A ve B sensörlerde dijital haberleşme tercih edilse de bazı data logger/inverter üreticileri sadece analog bağlantıyla çalışmaktadır. Bu durumda sensörler de analog haberleşme seçilmelidir.
- Analog sinyaller genellikle lokal ölçüm noktalarında, inverter içi girişler veya yakın konumlu veri toplama birimleri ile birlikte kullanılır.

Kablosuz Haberleşme (LoRa, LoRaWAN, Sub-GHz RF)

- Geniş alanlı sahalarda kablolama ihtiyacını azaltmak amacıyla kullanılabilir.
- Uzun mesafelerde düşük veri hızlarıyla çalışır.
- IEC 61724-1 Class A izleme senaryolarında **yalnızca tamamlayıcı (secondary) haberleşme** olarak kabul edilir.

Tüm haberleşme protokollerinde veri formatları, adresleme yapıları ve ölçüm periyotları yüklenici tarafından SCADA ekipmanı ile tam uyumlu olacak şekilde yapılandırılmalıdır.

2.4. SCADA/Monitoring Entegrasyonu

GES sahasında kurulacak tüm sensörlerden elde edilen ölçüm verileri, merkezi SCADA veya data loggера güvenilir ve sürekli bir şekilde aktarılmalıdır. Sensörlerden elde edilen veriler, uygun şekilde değerlendirilerek izleme platformu üzerinden izlenebilir olmalıdır. Bunun için ilgili SCADA/data logger markasıyla sensör markasının uyumlu olup olmadığı teyit edilmelidir. Özellikle data loggerlarla seçilen sensör markasının daha önce denenip test edildiğine dair evrak onay sürecinde İşveren Temsilcisine sunulmalıdır.

Sensörlerin SCADA sistemine bağlantısı, haberleşme yapılandırmaları, veri doğrulama kontrolleri ve sistem testleri, ilgili profesyonel ekipler tarafından gerçekleştirilmelidir. Kurulum sonrası gerekli fonksiyonel testler yapılarak sistemin doğru ve kesintisiz çalıştığı teyit edilmelidir. Bunun için sensör üretici firmadan uzaktan bağlantıyla sensörlerin sağlıklı çalıştığı teyit ettirilebilir.

2.5. Güç Besleme

Sensörlerin güç beslemesi, sensörlerin sağlıklı çalışması açısından çok önemlidir. Bu konular proje şartnamesinin ilgili bölümünde detaylı bir şekilde yazılmalı ve sahada uygulaması işveren temsilcisi tarafından kontrol edilmelidir. **Yanlış veya sağlıksız besleme** sensörlerin yanmasına, bozulmasına, veri kaybına ve ürünün garanti kapsamından çıkmasına neden olur.

Bu nedenle yüklenici tarafından aşağıdaki besleme gereklikleri sağlanmalıdır:

- Sensör girişinde (klemens/konektör uçlarında) ölçülen besleme gerilimi **12–30 V DC** aralığında olmalıdır. Nominal gerilim değeri **24 V DC** olarak kabul edilir.

- Kullanılacak güç kaynağı, şebeke/akü değişimleri ve yük dalgalanmaları gibi koşullarda çıkışını regüle edebilmeli ve sensör girişinde ölçülen gerilimin **12–30 V DC** aralığında kalmasını sağlayacak kapasitede seçilmelidir.
- Montaj/bağlantı yapılmadan önce güç kaynağı **enerjisiz** hale getirilmelidir.
- Kablo uzunluğu ve kesitine bağlı **gerilim düşümü** dikkate alınmalı, en kötü saha koşullarında dahi sensör girişinde ölçülen gerilim **12 V DC altına düşmeyecek** şekilde kablo kesiti ve uzunluğu seçilmelidir.
- Sensörün besleme ve sinyal/haberleşme kabloları, yüksek enerji hatları, motor sürücüler, inverterler ve yıldırım riski yüksek hatlardan mümkün olduğunca uzak konumlandırılmalıdır.
- Güç kaynağı bağlantısı sensör üzerindeki işaretlemelere uygun yapılmalı ve **polarite doğru** olmalıdır.
- Devreye alma öncesinde sensör girişinde gerilim ölçümü yapılarak değerin **12–30 V DC** aralığında olduğu doğrulanmalıdır.
- Devreye alma sonrasında sensör çalışırken (yük altındayken) sensör girişinde gerilim tekrar kontrol edilmeli; gerilim **12 V DC altına düşüyorsa** kablo kesiti, uzunluğu ve güç kaynağı kapasitesi gözden geçirilmelidir.
- Koruma elemanlarının seçimi ve konumlandırılması, tesisin risk analizi ve ilgili uygulama standartlarına uygun şekilde yapılmalı; koruma elemanları sonrası sensör girişinde ölçülen gerilim aralığının **12–30 V DC** şartını sağlamaya devam ettiği doğrulanmalıdır.

2.6. Kablo ve Konnektör Gereksinimleri

GES sahasında kurulacak tüm sensörlerin veri iletimi ve güç besleme hatları, dış ortam koşullarına uygun, elektromanyetik etkileşimlere karşı dayanıklı ve uzun süreli kararlı çalışmayı destekleyecek kablo ve konnektörlerle tesis edilmelidir. Kullanılacak kablolar; UV maruziyeti, sıcaklık değişimleri, nem, yağmur ve mekanik etkilere karşı dayanıklı olmalı ve saha koşullarında ölçüm güvenilirliğini olumsuz etkilemeyecek şekilde seçilmelidir.

Sensör veri hatlarında kullanılacak kablo türleri, haberleşme protokolü ve hat uzunluğu dikkate alınarak belirlenmelidir. RS-485 / Modbus RTU tabanlı uygulamalarda, düşük gürültü ve kararlı sinyal iletimi için **bükümlü çift (twisted pair) ve ekranlı (shielded) kablolar** tercih edilmelidir. Daha düşük AWG değerine sahip (örneğin 24 AWG) kablolar, daha yüksek mekanik dayanım ve daha düşük gerilim veya sinyal kaybı sağladığı için ilgili mesafelerde kullanılabilir.

Kablo Teknik Özellikleri (Mesafeye Göre Minimum Gereksinimler)

3–10 metre arası bağlantılar için:

- **Kablo tipi:** 3x2 damarlı, bükümlü çift (Twisted Pair), kalaylı bakır
- **İletken kesiti:** **Minimum 26 AWG**, (24 AWG ve daha düşük AWG değerleri kullanılabilir)
- **Dış kılıf:** PUR, mat siyah (yaklaşık $5,95 \pm 0,3$ mm)
- **Ekranlama:** Folyo ve örgü ekran, drenaj teli
- **Karakteristik empedans:** 120 ohm ± 10 ohm
- **Karşılıklı kapasitans:** <30 pF/ft
- **Ekran–iletken kapasitansı:** <60 pF/ft
- **Yayılm hızı:** > %66

- **Çalışma sıcaklığı:** $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$

10–100 metre arası bağlantılar için:

- **Kablo tipi:** 3x2 damarlı, bükümlü çift (Twisted Pair), kalaylı bakır
- **İletken kesiti:** Minimum 24 AWG
- **Dış kılıf:** PUR, mat siyah (yaklaşık $6,65 \pm 0,3\text{ mm}$)
- **Ekranlama:** Folyo ve örgü ekran, drenaj teli
- **Karakteristik empedans:** $120\text{ ohm} \pm 10\text{ ohm}$
- **Karşılıklı kapasitans:** $<30\text{ pF/ft}$
- **Ekran–iletken kapasitansı:** $<60\text{ pF/ft}$
- **Yayılm hızı:** $> \%66$
- **Çalışma sıcaklığı:** $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Kablo güzergâhları; AC/DC kablolarıyla aynı tavada taşınmamalı ayrı tavalarda aralarında en az bir (1) metre mesafe olmalıdır. Keskin bükülmelerden kaçınılacak, doğrudan güneş radyasyonuna uzun süreli maruziyet azaltılacak şekilde planlanmalıdır. Kablolar, saha içerisinde uygun kablo kanalları, tavalar veya UV dayanımlı kablo kelepçeleri ile mekanik olarak desteklenmelidir.

Konnektörler: Sensör bağlantılarında kullanılan tüm konnektörler, dış ortam koşullarına uygun olacak şekilde minimum **IP68** koruma sınıfında seçilmelidir. Konnektörler; su, toz ve uzun süreli nem maruziyetine karşı sızdırmaz yapıda olmalı ve korozyona dayanıklı malzemelerden imal edilmelidir. Pin dizilimleri ve bağlantı yapıları üretici teknik dokümanlarına uygun şekilde uygulanmalı ve saha devreye alma aşamasında doğrulanmalıdır.

2.7. Genel Mekanik Montaj Kuralları

PV sahalarında mekanik montaj ölçüm doğruluğunu ve sensör ömrünü doğrudan etkilediği için belirli teknik kurallara göre gerçekleştirilir. Bu kurallar, ağırlıklı olarak IEC 61724-1: Photovoltaic System Performance – Monitoring (Fotovoltaik sistem performansı – İzleme) standardında tanımlanan gereksinimlere dayanır.

Genel olarak ışınım sensörleri, PV modüllerinin kurulu olduğu yüzeyle **aynı eğim ve aynı azimut açısında** konumlandırılarak POA ışınım ölçümü yapılmalıdır. IEC 61724-1'e göre, modül düzlemi ile sensör düzlemi arasındaki eğim farkı $\pm 2^{\circ}$ **değerini aşmamalıdır**; daha yüksek sapmalar, ölçülen ışınım ve buna bağlı performans veya kirlenme değerlendirmelerinin modül davranışını temsil etmemesine neden olabilir.

Harici meteorolojik sensörler (rüzgâr, ortam sıcaklığı, nem, yağış vb.) ise ölçüm prensiplerine uygun olarak **yatay düzleme dik** veya üretici tarafından tanımlanan referans konumda monte edilmelidir. Bu sensörlerin konumlandırılması, çevresel parametrelerin sahayı temsili ve tekrarlanabilir şekilde ölçülmesini sağlayacak biçimde yapılmalıdır.

Tüm sensörler, yapısal elemanlar, kablo kanalları veya çevredeki diğer donanımlar nedeniyle gölgelemeye maruz kalmayacak noktalara yerleştirilmeli; ölçüm doğruluğunu etkileyebilecek lokal gölge, yansıma, ısıl kaynağa yakınlık (asfalt, baca vb.) veya türbülans etkilerinden kaçınılmalıdır.

Sensör kabloları **enerji kablolarıyla birlikte yan yana taşınmamalıdır**. AC/DC enerji kablosunun büyüklüğüne ve özelliklerine göre aradaki mesafe güvenli tarafta olacak şekilde korunmalıdır. 1 metre mesafe güvenli olarak alınabilir. Kablo dönüşleri kullanılan kablo teknik dokümanında belirtilen dönüş açısını aşmamalıdır.

Sensör kabloları mümkün olduğunca yekpare olmalıdır. Herhangi bir ek veya uzatma kullanılmamalıdır. Eğer bir ek yapılacak ise bu **daisy chain bağlantısı** şeklinde olmalıdır. Kesinlikle yıldız bağlantı kullanılmamalıdır.

Sensörlere erişim kolaylığı da mekanik tasarımda önemlidir. IEC 61724-1 “maintenance accessibility” maddelerinde belirtildiği gibi, temizlik ve kalibrasyon gibi periyodik bakımlar için sensörün güvenli ve kolay erişilebilir bir noktada bulunması önerilir. Ancak erişim sağlanırken sensörün modül düzlemi ile benzer çevresel maruziyeti devam ettirmesi gereklidir.

PV sahalarında kullanılacak malzemelerin UV dayanımı, korozyon direnci (özellikle yüksek nemli, kıyı ve endüstriyel sahalar) ve uzun süreli dış ortam koşullarına uyumluluğu önemlidir. Montaj aparatlarının paslanmaz çelik veya UV stabil alüminyum alaşımlarından olması yaygın bir uygulamadır. Ek olarak, kablo güzergâhlarının su birikmesini engelleyecek şekilde düzenlenmesi ve kemirgenlere karşı koruma yapılması, IEC 62548 kapsamında önerilen saha kurulum kurallarıyla uyumlu olmalıdır.

2.8. Topraklama ve Koruma

- GES sahasında kurulacak tüm sensörler, montaj aparatları ve kablo ekranları; güvenli çalışma, elektromanyetik parazitlerin azaltılması ve ölçüm sürekliliğinin sağlanması amacıyla uygun şekilde topraklanmalıdır. Topraklama uygulamaları, PV sahalarında genel kabul görmüş kurulum prensipleri ile uyumlu olacak şekilde gerçekleştirilmelidir.
- Sensörlerin metal gövdeleri ve montaj yapıları, sahadaki ana topraklama sistemine bağlanmalı ve ekipmanlar arasında potansiyel fark oluşumunu engelleyecek biçimde potansiyel dengeleme sağlanmalıdır. Haberleşme kablolarının ekranları, ölçüm kararlılığını bozabilecek parazit ve döngü akımlarını önlemek amacıyla uygun bir noktadan topraklanmalıdır.
- Sensör elektronik kartında güç girişinde koruma devreleri bulunmasına rağmen, saha kurulumu sırasında **harici koruma ve uygun topraklama/ekranlama önlemleri** ayrıca uygulanmalıdır.
- Kablo ekranı (shield) ve gövde/toprak bağlantıları, saha topraklama altyapısına uygun olacak şekilde yapılmalı; **eş potansiyel topraklama** sağlanmalı ve topraklama sürekliliği kontrol edilmelidir.
- Sahada **ESD (Electrostatic Discharge)** riskine karşı; bağlantı/montaj sırasında personel ve ekipman için uygun ESD önlemleri alınmalı, kablo ve konektör bağlantıları enerjisizken yapılmalıdır.
- Sahada **Surge (ani gerilim darbeleri/yıldırım kaynaklı)** riskine karşı; özellikle uzun kablolama ve dış ortam kurulumlarında, pano seviyesinde uygun **parafudr/SPD** ve koruma elemanları kullanılmalıdır.
- Sensörlerin konumlandırılmasında yıldırıma maruziyet riski dikkate alınmalı; PV modüllerinin üzerine taşacak veya saha genelindeki koruma seviyesini olumsuz etkileyecek yerleşimlerden kaçınılmalıdır. Bu yaklaşım, sensörlerin hem elektriksel güvenliğini hem de uzun vadeli ölçüm kararlılığını destekler.

- Sahada **EFT/Burst (anahtarlama darbeleri)** etkilerine karşı, sensör besleme ve haberleşme hatlarının kararlılığını sağlamak amacıyla; güç kaynağı çıkışında ve pano tarafında uygun filtreleme ve koruma elemanları uygulanmalıdır.



3. IŞINIM SENSÖRÜ (REFERANS HÜCRE)

Işınım Sensörü (Referans Hücre), santrallerde panel düzlemine gelen güneş ışınımını (Plane of Array – POA) W/m^2 cinsinden ölçmek amacıyla kullanılan ölçüm cihazıdır. Sensör, PV modüller ile benzer spektral ve açısız tepkiye sahip olup modülün gerçek çalışma koşullarını temsil eder ve Performans Oranı (PR) hesaplamalarında temel referans veri kaynağı olarak kullanılmalıdır.

3.1. Kullanılacak Sensör Adedi

Tesiste kullanılacak sensör adedi IEC 61724-1:2021 standardında tanımlı olup aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tabloda 40 MW altı sahalarda 2 (iki) adet sensör önerilmektedir. Bu durum küçük sahalar için de geçerlidir. Örneğin 1 MW sahada da 2 adet ışınım sensörü kullanılmalıdır. Bunun nedeni sensörün birisinin yedek olarak hizmet etmesidir. Böylece sensörlerin ölçüm sonuçları karşılaştırılarak doğru ölçüm tespitinde veya herhangi birisinin arızalanma durumunda veya kalibrasyona gönderilmesi durumunda **iki adet ışınım sensörü kullanmak veri güvenliği ve devamlılığı sağlanmış olur.**

Fakat sahada farklı yön (azimut veya tilt açısı) var ise **her bir azimut ve her bir tilt açısı için bir adet ışınım sensörü kullanılması zorunludur.** Aksi takdirde PR doğru hesaplanamayacaktır. Eğer farklı azimut ve tilt açıları olmasına rağmen tek bir sensör kullanılırsa bu durumda sensörün kurulduğu açıya bağlı olarak performans oranı ya olması gerekenden daha yüksek ya da daha düşük çıkacaktır ve bu değer günün saatlerine göre dalgalanma gösterecektir. Fakat bazı engebeli arazilerde her bir açı için bir sensör kullanılması maliyetli olup mümkün değildir. Bu durumda sahayı temsil edecek optimum sayı yatırımcı tarafından belirlenmelidir.

Kurulu Güç (AC) MW	Işınım Sensörü Adedi
< 40	2
≤ 40 to 100	3
≤ 100 to < 300	4
≤ 300 to < 500	5
≤ 500 to < 700	6
≤ 700	7 ve her ilave 200 MW için +1.

3.2. Teknik Özellikler

Bu şartname taslağında belirtilen teknik gereklilikler, uluslararası standartlar esas alınarak belirlenmiş olup; şartları sağlayan eşdeğer ürünlerin teklif edilmesine olanak tanır.

- **Belirsizlik:** ≤%1 (IEC 61724-1:2021 standardına göre A Sınıfı)
- **Çözünürlük:** ≤1 W/m^2 (IEC 61724-1:2021 standardına göre A Sınıfı)
- **Ölçüm aralığı:** 0-1600 W/m^2 veya daha yüksek
- **Tepki Süresi:** 1 sn

- **Hücre Görüş Açısı:** $>160^\circ$ olmalı ve hücre camı ile sensör yüzeyi arasında kademe farkı olmamalı, aynı seviyede olmalıdır. Kademe farkı olası durumunda bu noktalarda su ve toz birikmesi olmakta ve durum sensör doğruluğunu zaman içinde etkilemektedir.
- **Haberleşme Protokolü:** Modbus RTU veya SunSpec seçeneklerinden birisi, RS-485 fiziki donanım üzerinden.
- **Kablo Uzunluğu:** Direkt data logger veya SCADA sistemine bağlanmalıdır. Bunun için sahada ek yapmaya ihtiyaç olmayacak uzunlukta olmalıdır.
- **Kablo Özellikleri:** LIYYC11Y PUR Cable, 6 damarlı, Çift büküm sargılı, uzunluğa göre 24 AWG veya 26 AWG, UV dayanımlı, RS-485 haberleşme kablosu
- **Koruma sınıfı:** Minimum IP54 veya daha yüksek
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Malzeme:** UV dayanımlı, korozyona karşı korumalı malzeme
- **Besleme gerilimi:** 12...30 V DC (Önerilen 24 V DC)
- **Daisy Chain:** Tek bir Modbus hattı üzerinden haberleşmeye uygun olmalıdır. İhtiyaç duyulduğunda daisy chain bağlantı portu üretici tarafından sensör üzerinde bulundurulmalıdır. Böylece birden fazla sensör birbirine bağlanarak kablolamadan tasarruf sağlanacaktır.
- **Harici Sensör Bağlantısı:** Proje ihtiyaçlarına göre harici sensör (Panel Sıcaklık Sensörü, Rüzgâr Hız Sensörü, Rüzgâr Yön Sensörü, Bağıl Nem ve Ortam Sıcaklık Sensörü) bağlantılarının yapılmasına uygun altyapıda olmalıdır.
- **Uyumlu Standartlar:** Işınım sensörü teknik özellikleri IEC 61724-1:2021 standardıyla tamamen uyumlu olmalıdır
- **Kalibrasyon:** IEC 60904-2 standardı gerekliliklerine göre yapılmalıdır.

Özellikle ışınım sensörlerinde kirlenme ölçüm doğruluğu doğrudan etkilediğinden kirlenmenin yoğun olduğu bölgelerde **otomatik temizleme özelliği** olan ışınım sensörleri kullanılmalıdır. Aynı şekilde don ve kar yağışının sık olduğu bölgelerde ise **ısıtma özelliği** olan ışınım sensörü kullanılmalıdır.

3.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon

Işınım Sensörü, PV tesisler için en kritik sensördür. Çünkü bu sensör verisine bağlı olarak tesisin Performans Oranı hesaplanmaktadır. Sensör teknolojilerinde ise en kritik konu kalibrasyondur. Standartlara göre ve akredite bir laboratuvar tarafından yapılmayan kalibrasyon; bu derece kritik olan bir sensör için sorunlar doğurabilir. Bu nedenle ışınım sensör kalibrasyonunda aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır.

- ISO17025 standardına göre akredite bir laboratuvar tarafından kalibre edilmiş hücre ile IEC 60904-2 standardına göre yapılmış kalibrasyon sertifikası siparişe birlikte teslim edilmelidir. Sertifikayı veren laboratuvar ISO17025 standardına göre akredite olmalıdır. Verilen sertifikaların doğruluğu/orijinalliği online platformlar üzerinden teyit edilebilmelidir.
- Kalibrasyon sertifikalarında sensörün seri numarası, kalibrasyon tarihi ve ölçüm belirsizliği ($k = 2$) açıkça belirtilmelidir. Sertifika ISO17025 standardı gerekliliklerini taşımalıdır.
- Eğer ışınım sensörü kalibrasyonu, üretici firma laboratuvarında yapılacak ise bu laboratuvarın ISO17025 standardına uyumlu olduğunu gösterir akredite belgesi, ürün onayı sürecinde işveren temsilcisine sunulmalıdır. Bu standarda göre akredite olmayan laboratuvar kalibrasyonları kabul

edilmez. Bu durumda kalibrasyonun üçüncü bir akredite laboratuvar tarafından yapılacağı taahhüt edilen belge sunulmalıdır.

- Sensörler her iki yılda bir yeniden kalibre edilmelidir. Sensörlerin kalibrasyon sertifikaları kayıt altına alınmalı ve yeniden kalibrasyon süreleri tesis işletmesi tarafından takip edilmelidir.
- Yeni kalibrasyon değerleri sensör yazılımı aracılığıyla sensöre entegre edilebilir olmalıdır. Kalibrasyon değerinin sadece üretici tarafından girilebilir olduğu ürünler işveren temsilcisi tarafından onaylanmamalıdır. Bu konudaki üretici taahhüdü ürün onayı sürecinde iş veren temsilcisine sunulmalıdır.

3.4. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- Sensörler paneller ile aynı tilt ve azimut açısında monte edilmelidir.
- Gölge, yansıma ve yerel engellerden etkilenmeyecek açık bir alana yerleştirilmelidir
- Sahayı temsil edecek şekilde homojen dağılım sağlanmalıdır
- Montaj yüzeyi sağlam ve titreşimsiz olmalıdır.
- Madde 2.7'deki montaj ve 2.8'deki topraklama kuralları uygulanmalıdır.



4. PİRANOMETRE

Piranometreler, güneşten yeryüzüne ulaşan GHI (Global Horizontal Irradiance – Küresel Yatay Işınım) veya POA (Plane of Array – Dizi Düzlemi Işınımı) ölçülmesi amacıyla kullanılır. Ölçülen bu veriler; fotovoltaik sistem performans analizi, meteorolojik verilere dayalı fizibilite değerlendirmeleri ve uzun dönem iklimsel izleme çalışmaları için kullanılabilir. Her tesiste GHI ölçümü için 1 adet Piranometre bulunması tavsiye edilir. Tesis tasarım aşamasında Madde 2.1. Sahada Kullanılacak Sensör Tipleri, Adetleri ve Sınıfları bölümüne göre kullanılacak sensör adedi ve tipi seçilmelidir.

Bu şartname taslağında Piranometre için belirtilen teknik gereklilikler, uluslararası standartlar esas alınarak belirlenmiş olup; şartları sağlayan eşdeğer ürünlerin teklif edilmesine olanak tanır.

4.1. Standartlar ve Referanslar

Teklif edilecek piranometre aşağıdaki standartlara uygun olmalıdır:

- ISO 9060:2018 – Piranometre sınıflandırması ve performans kriterleri
- IEC 61724-1:2021 – Fotovoltaik sistem performans izleme ve ışınım ölçüm gereksinimleri

Piranometre Doğruluk Sınıfı Seçim Kriterleri

Kurulacak piranometrelerin doğruluk sınıfı, tesisin performans izleme gereksinimleri doğrultusunda belirlenmeli olup ölçümler, IEC 61724-1 standardında tanımlanan performans izleme ve veri kalitesi gerekliliklerini karşılamalıdır. Tesislerde sadece A sınıfı piranometreler kullanılmalıdır. Daha düşük sınıfta Piranometre kullanmak ekonomik açıdan mantıklı değildir. Çünkü A sınıf PV Referans Hücre tip Işınım sensörü hem daha ekonomik hem de B veya C sınıf Piranometreye göre daha iyi hassasiyete sahiptir.

4.2. Teknik Özellikler

- **Sensör tipi:** Termopil tabanlı Piranometre
- **Ölçülen değer:** Küresel Yatay Işınım (GHI) veya Dizi Düzlemi Işınımı (POA)
- **Ölçüm aralığı:** Minimum 0 ... 1600 W/m² veya daha büyük
- **Uyumlu Standartlar:** Teknik özellikleri ISO 9060:2018 Class A ve IEC 61724-1:2021 Class A standartlarına tamamen uyumlu olmalıdır
 - Belirsizlik: ≤%2
 - Spektral aralık: Yaklaşık 285 – 2800 nm veya daha geniş
- **Işınım Çözünürlüğü:** ≤ 0.1 W/m²
- **Tepki süresi (%95):** ≤ 1 saniye veya daha az
- **Haberleşme Protokolü:** Modbus RTU veya SunSpec seçeneklerinden birisi, RS-485 fiziki donanım üzerinden.
- **Kablo Uzunluğu:** Direkt data logger veya SCADA sistemine bağlanmalıdır. Bunun için sahada ek yapmaya ihtiyaç olmayacak uzunlukta olmalıdır.
- **Kablo Özellikleri:** LI2(ST)C11Y-PUR Cable, 6 damarlı, çift büküm sargılı, uzunluğa göre 24 AWG veya 26 AWG, UV dayanımlı, RS-485 haberleşme kablosu
- **Koruma sınıfı:** Minimum IP65 veya daha yüksek
- **Garanti süresi:** Minimum 5 yıl garanti
- **Malzeme:** UV dayanımlı, korozyona karşı korumalı malzeme

- **Besleme gerilimi:** 12...30 V DC (Önerilen 24 V DC)
- **Çalışma sıcaklığı:** -40 °C ... +80 °C veya daha geniş
- **Kalibrasyon:** ISO 9847 standardı gerekliliklerine göre yapılmalıdır.

4.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon

Işınım sensörleri PV tesisler için en kritik sensörlerdir. Çünkü bu sensörlerin verisine bağlı olarak tesisin Performans Oranı hesaplanmaktadır. Sensör teknolojilerinde ise en kritik konu kalibrasyondur. Standartlara göre ve akredite bir laboratuvar tarafından yapılmayan kalibrasyon; bu derece kritik olan bir sensör için sorunlar doğurabilir. Bu nedenle ışınım sensör kalibrasyonunda aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır.

- Kalibrasyon işlemi, ISO 9847 standardına göre, izlenebilirliği sağlanmış referans piranometreler ile karşılaştırmalı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiş olmalıdır.
- Sertifikayı veren laboratuvar ISO17025 standardına göre akredite olmalıdır. Verilen sertifikaların doğruluğu/orijinalliği online platformlar üzerinden teyit edilebilmelidir.
- Kalibrasyon sertifikalarında sensörün seri numarası, kalibrasyon tarihi ve ölçüm belirsizliği ($k = 2$) açıkça belirtilmelidir. Sertifika ISO17025 standardı gerekliliklerini taşımaktadır.
- Eğer piranometre kalibrasyonu üretici firma laboratuvarında yapılacak ise bu laboratuvarın ISO17025 standardına uyumlu olduğunu gösterir akredite belgesi ürün onayı sürecinde işveren temsilcisine sunulmalıdır. Akreditasyon kapsamı herhangi bir tip ışınım sensörü kalibrasyonunu içermesi yeterlidir. Bu standarda göre akredite olmayan laboratuvar kalibrasyonları kabul edilmez. Bu durumda kalibrasyonun üçüncü bir akredite laboratuvar tarafından yapılacağı taahhüt edilen belge sunulmalıdır.
- Sensörler her iki yılda bir yeniden kalibre edilmelidir. Sensörlerin kalibrasyon sertifikaları kayıt altına alınmalı ve yeniden kalibrasyon süreleri tesis işletmesi tarafından takip edilmelidir.
- Yeni kalibrasyon değerleri sensör yazılımı aracılığıyla sensöre entegre edilebilir olmalıdır. Kalibrasyon değerinin sadece üretici tarafından girilebilir olduğu ürünler işveren temsilcisi tarafından onaylanmamalıdır. Bu konudaki üretici taahhüdü ürün onayı sürecinde iş veren temsilcisine sunulmalıdır.

4.4. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- GHI (Global Horizontal Irradiance – Küresel Yatay Işınım) ölçümü sağlayacak piranometre, yatay düzleme tamamen paralel olacak şekilde monte edilmelidir. Üzerinde bulunan su terazisi ile kontrol edilerek tam yatay konum sağlanmalıdır.
- POA (Plane of Array – Dizi Düzlemi Işınımı) ölçümü sağlayacak piranometre, fotovoltaik paneller ile aynı eğim açısı ve aynı azimut yönünde monte edilmelidir.
- Sensör; gölge, yansıma ve yerel engellerden etkilenmeyecek açık bir alana yerleştirilmelidir.
- Sahayı temsil edecek şekilde homojen dağılım sağlanmalıdır.
- Montaj yüzeyi sağlam ve titreşimsiz olmalıdır.
- Madde 2.7'deki montaj ve 2.8'deki topraklama kuralları uygulanmalıdır.

5. ALBEDOMETRE

Albedometre, fotovoltaik (PV) santrallerde çift yüzölü (bifacial) panellerin doğru Performans Oranı (PR) hesaplamasının yapılabilmesi amacıyla, panel düzlemine gelen ön yüz ışınımı ile zeminden yansıyan arka yüz ışınımını ölçen meteorolojik ölçüm cihazıdır. Ölçülen veriler kullanılarak albedo oranı hesaplanır ve bifacial üretim katkısı doğru şekilde belirlenir. Bu nedenle çift yüzölü panel kullanılan tesislerde PV Albedometre **kullanılması zorunludur**.

Albedo ölçümü Termopil Piranometre veya Işınım Sensörü/Referans Hücre ile yapılabilir. İki durumda da sensörler panel açılarında montaj yapılmalıdır. Hem ön yüzden hem arka yüzden POA ışınımı alınmalıdır. Standartlar albedometreyi daha çok meteorolojik amaçlı tanımladıkları için yatay kurulumu tarif etmektedirler. Fakat GHI ölçümü yapılarak hesaplanan albedo değeri doğru bir Performans değerlendirme imkânı vermeyecektir. Bu nedenle ölçümler panel düzleminde yapılmalıdır. Fakat meteorolojik verilerle karşılaştırmak için, sahadan daha önce alınmış tarihsel verilerle karşılaştırmak için veya engebeli arazilerde genel bir değerlendirme yapmak için piranometreler yatay bağlanarak albedo değeri hesaplamasında kullanılabilir.

POA albedometre kullanımlarında panelin hem üst yüzeyine gelen ışınım hem de arka yüzeyine gelen ışınım ölçüldüğünden dolayı, üst yüzey için ek bir ışınım sensörü kullanmak gerekmez. PR hesabı bu iki yüzeyden gelen ışınım değerleri üzerinden hesaplanabilir. Seçilen ürün ön yüz ışınım verisi, arka yüz ışınım verisi, albedo oranı, panel sıcaklık verisi değerlerini ayrı ayrı registerlar ve tek bir ID üzerinden göndermelidir.

5.1. Teknik Özellikler

Bu şartname taslağında belirtilen teknik gereklilikler, uluslararası standartlar esas alınarak belirlenmiş olup; şartları sağlayan eşdeğer ürünlerin teklif edilmesine olanak tanır. Albedometrede kullanılacak iki yüzde bulunan sensörler için aşağıdaki şartlar aranır:

- **Ölçüm Çıktısı:** Ön yüz ışınım verisi, arka yüz ışınım verisi, albedo oranı, panel sıcaklık verisi değerlerini tek bir ID numarası üzerinden sağlamalıdır. (Piranometre kullanıldığında albedo oranı ve panel sıcaklık verisi şartı aranmaz)
- **Belirsizlik:** $\leq 2\%$ (IEC 61724-1:2021 standardına göre A Sınıfı)
- **Çözünürlük:** $\leq 1 \text{ W/m}^2$ (IEC 61724-1:2021 standardına göre A Sınıfı)
- **Ölçüm aralığı:** $0-1500 \text{ W/m}^2$ veya daha yüksek
- **Tepki Süresi:** 1 sn
- **Hücre Görüş Açısı:** $>160^\circ$
- **Haberleşme Protokolü:** Modbus RTU veya SunSpec seçeneklerinden birisi, RS-485 fiziki donanım üzerinden.
- **Kablo Uzunluğu:** Direkt data logger veya SCADA sistemine bağlanmalıdır. Bunun için sahada ek yapmaya ihtiyaç olmayacak uzunlukta olmalıdır.
- **Kablo Özellikleri:** LIYYC11Y PUR Cable, 6 damarlı, Çift büküm sargılı, uzunluğa göre 24 AWG veya 26 AWG, UV dayanımlı, RS-485 haberleşme kablosu
- **Koruma sınıfı:** Minimum IP54 veya daha yüksek
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Malzeme:** UV dayanımlı, korozyona karşı korumalı malzeme
- **Besleme gerilimi:** 12...30 V DC (Önerilen 24 V DC)

- **Daisy chain:** Tek bir Modbus hattı üzerinden haberleşmeye uygun olmalıdır. İhtiyaç duyulduğunda daisy chain bağlantı portu üretici tarafından sensör üzerinde bulundurulmalıdır. Böylece birden fazla sensör birbirine bağlanarak kablolamadan tasarruf sağlanacaktır. Piranometre kullanılması durumunda bu şart aranmaz.
- **Harici Sensör Bağlantısı:** Panel Sıcaklık Sensörü bağlanabilmelidir. Piranometre kullanılması durumunda bu şart aranmaz.
- **Kalibrasyon:** IEC 60904-2 standardı gerekliliklerine göre bu dokümanın madde 3.3. Kalibrasyon bölümü takip edilerek yapılmalıdır. Piranometre kullanılan albedometreler için ise ISO 9847 standardı gerekliliklerine göre bu dokümanın madde 4.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon bölümü takip edilerek yapılmalıdır.

5.2. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- Sensörler paneller ile aynı tilt ve azimut açısında monte edilmelidir. Yüksekliği panelin yerden yüksekliği ile aynı olmalıdır. Yatay bağlanarak GHI'ya bağlı albedo hesaplanacak uygulamalarda albedometrenin yerden yüksekliği en az 1 metre olmalıdır.
- Gölge, yansımaya ve yerel engellerden etkilenmeyecek açık bir alana yerleştirilmelidir.
- Arka yüz sensör konumu, PV dizisinin büyük çoğunluğunu temsil edecek görüş alanı sağlayacak şekilde seçilmelidir. Bu görüş açısı ± 80 dereceden küçük olmamalıdır.
- Zemin yüzeyinin veya albedo özelliklerinin değişkenlik göstermesi durumunda yeterli sayıda sensör kullanılmalı ve uygun örnekleme metodolojisi uygulanmalıdır.
- Montaj yüzeyi sağlam ve titreşimsiz olmalıdır.
- Madde 2.7'deki montaj ve 2.8'deki topraklama kuralları uygulanmalıdır.

EVEN
SENSOR SOLUTIONS

6. TOZ (KİRLİLİK TESPİT) SENSÖRÜ

6.1. Otomatik ve Manuel Toz Sensörleri

Kirlenme, panel üzerinde örtü oluşturarak güneş ışınlarının fotovoltaik hücrelere ulaşmasını engeller ve enerji üretimini düşürür. Bu nedenle tesislerde en az bir adet toz (kirlilik tespit) sensörü bulunması gerekir. Eğer tesiste birden fazla panel açısı var ise her bir açı için bir adet toz sensörü bulunmalıdır.

Sensörden elde edilen veriler doğrultusunda kirliliğin neden olduğu enerji kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır. Eğer çıkan tutar tesisin temizlenmesi için gereken tutardan büyük ise **tesis temizlenmelidir**.

- Toz Sensöründe okunan değer = %5
- Tesisin sattığı aylık enerji tutarı = A \$
- Tesisin temizleme maliyeti = B \$

$B \leq Ax0.05$ ise tesis temizlenmelidir.

Toz sensörü olmadan bu hesaplama yapılamayacağından dolayı tesislerde toz sensörü bulunması gerekir. Kapasitesi 1 MW üzeri olan sahalarda toz sensörü bulunması zorunludur. Aksi takdirde tesiste oluşacak kirlenme kaynaklı enerji kayıpları gözlemlenemez.

6.1.1. Standartlar ve Uygunluk

Kirlenme izleme istasyonu, IEC 61724-1:2021 (Ek C) gerekliliklerine uygun olmalı ve kirlenmeye bağlı kısa devre akımındaki azalmanın ölçülmesine dayanan Metot No 2'yi uygulamalıdır. Bu standarda göre sensör lokal öğle saatinden (yani güneşin tam tepede olduğu konum) sadece iki saat önce ve iki saat sonra veri toplamalıdır. Santralin yerel saatinin belirlenmesi için sensörde bu altyapının bulunması gerekir. Bunun için sensör arayüzünden santralin koordinatları girilebilmeli ve sensör sadece bu dört saatlik verileri işlemelidir. Bu saatler dışında alınan veriler sensörün belirsizliğini artıracaktır.

Sensörde stabil data ayrımı yapan bir yazılım olması gerekir. Güneş ışığında oluşan dalgalanmalar sensör belirsizliğini ciddi oranda etkiler. Bu nedenle sensör ilgili standartta belirtilen değerleri filtrelemeli ve arayüzünde kaç stabil data aldığını ayrı bir registerdan vermelidir.

Sensör hem anlık kirlenme oranını hem de günlük ortalama kirlenme oranını göstermelidir. Fakat dikkate alınması gereken değer yukarıdaki standarda göre **Günlük Ortalama Kirlenme Oranı**'dır. Kirlenme oranının gün içinde değişmesi beklenmez. Bu nedenle hesaplama tamamlandıktan sonra tek bir günlük ortalama değerinin hesaplanması ve değerlendirmenin bu oran üzerinden yapılması makuldür.

6.1.2. Teknik Özellikler

Sistem, PV modüller ile aynı eğim açısında ve panel düzleminde (Plane of Array – POA) monte edilen iki referans cihaz aracılığıyla tozlanma oranını belirlemelidir; böylece ölçümlerin temsili ve karşılaştırılabilir olması sağlanır.

Bir referans hücre temiz durumda tutulmalı, diğer referans hücre ise doğal (panellerle aynı) koşullarda bırakılmalıdır.

- **Sensör tipi:** Referans hücre tabanlı, biri temiz diğeri kirli olmak üzere iki sensörlü karşılaştırmalı ölçüm sistemine sahip olmalıdır.
- **Koordinat Bilgisi:** Sensör arayüzünden santralin bulunduğu koordinat bilgileri girilebilmelidir.

- **Ölçüm aralığı:** Kirlenme Oranı için %0 ... %100 aralığında ölçüm yapabilmelidir.
- **Ölçüm doğruluğu:** \leq %1 belirsizlik değerine sahip olmalıdır.
- **Ölçüm çözünürlüğü:** %0,1 veya daha iyi olmalıdır.
- **Veri Çıktıları:** Günlük Ortalama Kirlenme Oranı, Anlık Kirlenme Oranı, Su Tankı Durum Bilgisi, Kirlili ve Temiz Hücre Işınım ve Hücre Sıcaklık Değerleri, Hesaplanan Stabil Data Adedi
- **Güç kaynağı:** 110-240 V AC veya 24 V 5 A DC
- **Koruma sınıfı:** Sensör minimum IP54 koruma sınıfına sahip olmalıdır.
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Veri çıkışı:** Sensör, RS-485 üzerinden Modbus RTU haberleşme protokolünü desteklemelidir.
- Temiz referans hücre günlük olarak otomatik veya manuel şekilde temizlenmelidir. Kullanıcı, günlük temizleme döngüsü sayısını yapılandırabilmeli ve sistem günde en fazla üç (3) temizleme döngüsünü desteklemelidir.
- Manuel toz sensörlerinde, temiz referans hücrenin ölçüm doğruluğunu koruyacak şekilde saha personeli tarafından, belirlenen kirlenme izleme periyotlarına uygun aralıklarla düzenli olarak temizlenmesi sağlanmalıdır.
- Otomatik normalizasyon özelliği olan toz sensörleri seçilmelidir.
- Kirlili referans cihaz, santralde uygulanan PV modül temizleme zamanında panellerle birlikte temizlenmelidir.
- Otomatik Toz Sensörleri için sistem, temizleme mekanizmasına uygun entegre bir su tankı ile birlikte sağlanmalıdır.
- Kullanıcı, otomatik temizleme zamanını tanımlayabilmeli ve ölçüm belirsizliğini en aza indirerek doğruluğu artırmak amacıyla yerel öğle saati civarında temizleme yapılmamalıdır.
- Sistem, minimum %0,1 ölçüm çözünürlüğü ve \leq %1 ölçüm belirsizliği sağlamalı ve IEC 61724-1 Sınıf A standartlarıyla uyumlu ışınım sensörleri içermelidir.
- Toz sensörü Modbus RTU haberleşmesini desteklemeli ve tesiste bulunan Modbus destekli veri kaydedici ile tam uyumlu olmalıdır.
- Gerekli tüm montaj yapıları, aksesuarlar ve kurulum ekipmanları üretici tarafından sağlanmalı ve açık alan PV santral koşullarıyla tam uyumlu olmalıdır.

6.1.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon

Toz sensörü iki adet ışınım sensöründen oluşmaktadır ve ilk kalibrasyonları bu dokümanın madde 3.3. Kalibrasyon bölümüne göre yapılması gerekir. Bundan sonraki takip eden kalibrasyonları ise otomatik normalizasyon özelliği kullanılarak sahada yapılabilir olmalıdır.

6.2. Taşınabilir Toz Sensörü

Taşınabilir bir toz sensörü, işletme ve bakım (O&M) ekipleri, temizlik yüklenicileri ve EPC firmaları tarafından birden fazla fotovoltaik (PV) santral sahasında tozlanma oranının değerlendirilmesi veya bir sahanın farklı bölgelerindeki kirlenme oranının tespiti için kullanılır. Özellikle bir tesisin farklı noktalarında farklı kirlenme davranışları mevcut ise önerilir. Örneğin, tesisin bazı bölümleri diğer bölümüne göre daha fazla kirleniyor ise bu durumda birden fazla sabit toz sensörü kullanmak gerekir. Fakat taşınabilir toz sensörü bu ihtiyacı daha ekonomik şekilde çözebilir. Tesiste bulunacak bir adet taşınabilir toz sensörü ile tesisin farklı noktalarında birden fazla ölçüm alınarak değerlendirilmede yapılabilir.

Cihaz elde taşınabilir ve sabit bir kurulum gerektirmeksizin farklı PV dizi ve alanlarında kolayca taşınabilir ve kullanılabilir şekilde tasarlanmış olmalıdır.

Taşınabilir Toz Sensörü optik ölçüm prensibine dayalı olarak çalışmalı ve kirlenme birikiminin neden olduğu ışınım veya fotoakım değişimlerini ölçerek tozlanma oranını belirlemelidir. Sensör %2'nin altındaki değerleri göstermeyebilir. Çünkü %2'nin altındaki değerler temizleme maliyetinin altında kalmaktadır.

6.2.1. Teknik Özellikler

- **Ölçüm Süresi:** Maksimum 10 dakika
- **Ölçüm Aralığı:** %2 - %20
- **Çıktı:** HMI ekran üzerinden
- **Sensör Doğruluğu:** %2 veya daha düşük hata oranı
- **Batarya:** Şarj edilebilir lityum batarya



7. PANEL SICAKLIK SENSÖRÜ

Panel Sıcaklık Sensörü (modül arkası sıcaklık sensörü olarak da adlandırılabilir), fotovoltaik (PV) enerji santrallerinde panellerin arka yüzey sıcaklığının ölçülmesi amacıyla kullanılan sensördür. Ölçülen panel sıcaklığı verisi, PV modüllerin sıcaklık katsayısı kullanılarak güç değişiminin belirlenmesi ve sıcaklık etkisi düzeltilmiş Performans Oranı (PR) hesaplamalarında kullanılmalıdır.

IEC 61724-1 standardında 40 MW'tan küçük sahalarda için 6 adet sıcaklık sensörü kullanılması gerektiği yazılmıştır. Fakat standart, çok düşük kapasiteli kurulumlar için ayrı bir sayı belirtmemiştir. Performans Oranı hesabına etkisi sebebiyle saha ne kadar küçük olursa olsun minimum ışınım sensörü adedi kadar panel sıcaklık sensörü kullanılmalıdır. Büyük kapasiteli sahalarda ise 100 MW'ın üzerindeki her 200 MW büyüklük için üç panel sıcaklık sensörü eklenmesi makul görünmektedir.

Tesis tasarım aşamasında, yüksek doğrulukta Performans Oranı hesabı için Madde 2.1. Sahada Kullanılacak Sensör Tipleri, Adetleri ve Sınıfları bölümüne göre kullanılacak sensör adedi ve tipi seçilmelidir.

7.1. Standartlar ve Uygunluk

- Sensör, IEC 60751:2022 standardına uygun A Sınıfı ölçüm doğruluğuna sahip olmalıdır.
- Sensör ve ölçüm yöntemi, IEC 61724-1:2021 Ek B kapsamında tanımlanan fotovoltaik tesis izleme gerekliliklerine uygun olmalıdır. Sensör ebatı panel hücre ebatının %10'undan büyük olmamalıdır. Sensör alüminyum bir muhafaza içinde olmamalıdır. Sensör şekli standarda gösterildiği gibi yuvarlak olmalıdır.

7.2. Teknik Özellikler

- Modül sıcaklık sensörü, IEC 61724-1:2017 standardında tanımlanan Class A izleme gerekliliklerini karşılayacak doğrulukta, Annex B (Ek B) kısmında belirtilen yapısal özelliklerde ve sensör elemanı IEC 60751 standardına uygun Class A tolerans sınıfında PT1000 tip platin direnç termometre (RTD) olmalıdır. Sensör şekli standartta gösterildiği gibi yuvarlak olmalı ve kapladığı alan panel tek bir hücre alanının %10'nu aşmamalıdır.
- **Ölçüm aralığı:** Minimum -40 °C ... +85 °C olmalıdır.
- **Ölçüm doğruluğu:** $\leq \pm 1$ °C olmalıdır.
- **Ölçüm çözünürlüğü:** 0,1 °C olmalıdır.
- **Çalışma gerilimi:** 12–30 V DC aralığında olmalıdır.
- **Koruma sınıfı:** Sensör minimum IP67, varsa dönüştürücü muhafazası minimum IP65
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Veri çıkışı:** Sensör, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki çıkış seçeneklerinden en az birini desteklemelidir:
 - PT1000 çıkış (tavsiye edilir). Direkt Işınım sensörüne veya kompakt hava istasyonuna bağlanabilir.
 - Analog 4–20 mA çıkış
 - Analog 0–10 V çıkış
 - RS-485 arayüzü üzerinden Modbus RTU haberleşme protokolü
- **Ölçüm sinyalleri:** Veri kaydedicilere veya izleme sistemlerine doğrudan bağlanabilir olmalıdır.

7.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- Sensör, PV panelin arka yüzeyine doğrudan temas edecek şekilde tasarlanmış olmalıdır.
- Modül arka yüzeyinde kullanılacak sıcaklık sensörlerinde alüminyum malzeme tercih **edilmemelidir**. Alüminyum ve benzeri metallerle kaplanmış panel sıcaklık sensörlerinin, IEC 61724-1 standardına göre ısıl davranışları panel arka yüzeyleriyle aynı olmaması sebebiyle sıcaklık değişimlerine tepkileri farklıdır. Sensör gövdesi ve temas yüzeyleri, modül ile kimyasal veya elektriksel reaksiyon oluşturmayacak ve uzun dönem çevresel dayanım sağlayacak malzemeden imal edilmelidir ve aşağıdaki yapılardan biri olabilir:
 - **EVA–Tedlar arası lamine edilebilen yapı,**
 - **UV dayanımlı ABS plastik enjeksiyon kılıf.**
- Sensör boyutları, panel üzerindeki tek bir hücrenin alanının **%10'undan küçük** olacak kompakt tasarımda olmalıdır.
- Sensör, yüksek ısı iletkenli, UV ve çevre koşullarına dayanıklı 3M bant ile panel arkasına monte edilebilmelidir.
- Kablo yapısı PUR veya eşdeğeri, UV ve hava koşullarına dayanıklı malzemeden üretilmiş olmalıdır.
- Kablo montaj desteği için yapışkanlı kroşeler, klipsler ve çift taraflı 3M bant benzeri yardımcı ekipmanlar sağlanmalıdır.
- Kablo uzunluğu, sensör çıkış sinyaline uygun olarak PV santral uygulamaları için yeterli olacak şekilde belirlenmelidir. Sinyal bütünlüğü, ölçüm doğruluğu ve haberleşme güvenilirliğinin korunması amacıyla, PT1000 ve 4–20 mA analog çıkışlı sensörlerde kablo uzunluğu 20 metreyi, RS-485 haberleşme protokolü kullanan sensörlerde ise 800 metreyi geçmemelidir.

8. ORTAM SICAKLIK SENSÖRÜ

Ortam Sıcaklık Sensörleri, fotovoltaik (PV) enerji santrallerinde çevresel hava sıcaklığının ölçülmesi amacıyla kullanılan ölçüm cihazıdır.

Her tesiste ortam sıcaklık parametresi ölçümü için 1 adet Ortam Sıcaklık Sensörü bulunması tavsiye edilir. Tesis tasarım aşamasında Madde 2.1. Sahada Kullanılacak Sensör Tipleri, Adetleri ve Sınıfları bölümüne göre kullanılacak sensör adedi ve tipi seçilmelidir.

8.1. Standartlar ve Uygunluk

- Sensör, IEC 60751:2022 standardına uygun Class A doğrulukta PT1000 algılayıcıya sahip olmalıdır.
- Sensör ve ölçüm yöntemi, IEC 61724-1:2021 Ek B kapsamında tanımlanan fotovoltaik tesis izleme gerekliliklerine uygun olmalıdır.

8.2. Teknik Özellikler

- **Sensör tipi:** PT1000 RTD (Dirençli Sıcaklık Dedektörü) olmalıdır.
- **Gölgeleme Aparatı:** Ortam sıcaklık sensörü kendisini doğrudan güneş ışığı almasından koruyacak ve hava akışına izin veren, UV katkılı ABS malzemeden mamul, montaj noktaları plastiğe gömülmüş metal olmalı ve ürünle beraber verilmelidir. En az 7 adet plakadan oluşmalıdır.
- **Ölçüm aralığı:** Minimum $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmalıdır.
- **Ölçüm doğruluğu:** $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ veya daha iyi olmalıdır.
- **Ölçüm çözünürlüğü:** $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ veya daha iyi olmalıdır.
- **Çalışma gerilimi:** $12\text{--}30\text{ V DC}$ aralığında olmalıdır.
- **Koruma sınıfı:** Sensör minimum IP67, varsa dönüştürücü muhafazası minimum IP65
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Veri çıkışı:** Sensör, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki çıkış seçeneklerinden en az birini desteklemelidir:
 - PT1000 çıkışı (tavsiye edilir). Direkt Işınım sensörüne veya kompakt hava istasyonuna bağlanabilir.
 - RS-485 arayüzü üzerinden Modbus RTU haberleşme protokolü
 - Analog $4\text{--}20\text{ mA}$ sinyal çıkışı
 - Analog $0\text{--}10\text{ V}$ sinyal çıkışı

8.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- Sensör, doğrudan güneş ışınımından etkilenmeyecek şekilde UV Katkılı ABS radyasyon kalkanı (Gölgeleme Aparatı) ile birlikte sunulmalı ve ortam havası ile serbest hava sirkülasyonu sağlayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Gölgeleme aparatının bağlantı noktaları plastik gövdeye gömülmüş metal delikler olmalıdır. Çünkü vidaların direk plastik gövdeye sıkılması plastik malzemede zamanla çatlamalara ve kırılmalara neden olacaktır.
- Sensör muhafazası en az IP67 koruma sınıfında olmalı, UV ışınlarına, yağmur, toz ve zorlu dış ortam koşullarına dayanıklı olmalıdır.

- Sensör, açık alanda hava akışını engellemeyecek şekilde direk, zemin veya uygun taşıyıcı yapı üzerine monte edilebilmelidir.
- Kablo yapısı PUR veya eşdeğeri, UV ve hava koşullarına dayanıklı malzemeden üretilmiş olmalıdır.
- Kablo uzunluğu, sensör çıkış sinyaline uygun olarak PV santral uygulamaları için yeterli olacak şekilde belirlenmelidir. Sinyal bütünlüğü, ölçüm doğruluğu ve haberleşme güvenilirliğinin korunması amacıyla, PT1000 ve 4–20 mA analog çıkışlı sensörlerde kablo uzunluğu 20 metreyi, RS-485 haberleşme protokolü kullanan sensörlerde ise 800 metreyi geçmemelidir.



9. BAĞIL NEM SENSÖRÜ

Bağıl Nem Sensörleri, fotovoltaik (PV) enerji santrallerinde çevresel bağıl nem oranı ölçülmesi amacıyla kullanılan ölçüm cihazıdır. Nem oranına bağlı olarak paneller üzerinde çiglenme görülebilir ve buna bağlı panellerde performans kayıpları yaşanabilir. Bu tür durumların tespiti için nem sensörüne ihtiyaç vardır.

Her tesiste 1 adet Bağıl Nem Sensörü bulunması tavsiye edilir. Tesis tasarım aşamasında Madde 2.1. Sahada Kullanılacak Sensör Tipleri, Adetleri ve Sınıfları bölümüne göre kullanılacak sensör adedi ve tipi seçilmelidir.

9.1. Standartlar ve Uygunluk

- Bağıl nem ölçümü IEC 61724-1:2021 standardına göre Class A gerekliliklerini karşılamalıdır.
- Tercihe bağlı olarak Bağıl Nem sensörü ortam sıcaklık sensörü şartname maddeleri göz önünde bulundurularak kompakt bir yapıda sunulabilir.

9.2. Teknik Özellikler

- **Sensör tipi:** Bağıl nem algılayıcısı kapasitif tipte olmalıdır. Entegre yapıda olup sıcaklık ve basınç verisi de sağlayabilir.
- **Gölgeleme Aparatı:** Nem sensörü kendisini direkt güneş ışığından koruyacak ve hava akışına izin veren, UV katkılı ABS malzemeden mamul, montaj noktaları plastiğe gömülmüş metal olmalı ve ürünle beraber verilmelidir.
- **Ölçüm aralığı:** %0 ... %100 RH.
- **Ölçüm doğruluğu:** %20 ... %70 RH aralığında ± 1 veya daha iyi olmalıdır.
- **Ölçüm çözünürlüğü:** %0,1 RH veya daha iyi olmalıdır.
- **Çalışma gerilimi:** 12–30 V DC aralığında olmalıdır.
- **Koruma sınıfı:** Sensör minimum IP67, varsa dönüştürücü muhafazası minimum IP65
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Veri çıkışı:** Sensör, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki çıkış seçeneklerinden en az birini desteklemelidir:
 - Dijital I²C arayüzü (tavsiye edilir). Direkt Işınım sensörüne veya kompakt hava istasyonuna bağlanabilir.
 - Analog 4–20 mA çıkış (bağıl nem)
 - RS-485 arayüzü üzerinden Modbus RTU haberleşme protokolü

9.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- Sensör, doğrudan güneş ışınımından etkilenmeyecek şekilde UV Katkılı ABS radyasyon kalkanı (Gölgeleme Aparatı) ile birlikte sunulmalı ve ortam havası ile serbest hava sirkülasyonu sağlayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Gölgeleme aparatının bağlantı noktaları plastik gövdeye gömülmüş metal delikler olmalıdır. Çünkü vidaların doğrudan plastik gövdeye sıkılması plastik malzemede zamanla çatlamalara ve kırılmalara neden olacaktır.
- Sensör muhafazası en az IP67 koruma sınıfında olmalı, UV ışınlarına, yağmur, toz ve zorlu dış ortam koşullarına dayanıklı olmalıdır.

- Sensör, açık alanda hava akışını engellemeyecek şekilde direk, zemin veya uygun taşıyıcı yapı üzerine monte edilebilmelidir.
- Kablo yapısı PUR veya eşdeğeri, UV ve hava koşullarına dayanıklı malzemeden üretilmiş olmalıdır.
- Kablo uzunluğu, en az 1,5 metre ve PV santral uygulamaları için yeterli olacak şekilde seçilmiş olmalıdır. Kompakt hava istasyonlarında daha kısa olabilir.



10. RÜZGÂR HIZ SENSÖRÜ

Rüzgâr Hız Sensörleri, fotovoltaik (PV) enerji santrallerinde çevresel koşulların izlenmesi, performans analizlerinin doğru yapılması ve IEC 61724-1 standardı kapsamında meteorolojik veri sağlanması amacıyla kullanılacak rüzgâr hızı parametresinin ölçümünü sağlayan cihazlardır.

Rüzgâr hızı ölçümü, PV modüllerinin yüzey sıcaklığını etkileyen konvektif **soğutma etkisinin** belirlenmesi açısından gereklidir. Modül sıcaklığı enerji üretim verimini doğrudan etkilediğinden, rüzgâr hızı verisi; performans oranı (PR) hesaplamalarında, sıcaklık düzeltme analizlerinde ve özellikle modül sıcaklık modellemesi ile çevresel etki analizlerinde destekleyici bir parametre olarak kullanılmalıdır.

Ayrıca rüzgâr hızı sensörleri, rüzgâr kaynaklı yapısal veya **ekipman hasarlarının** doğrulanması ve bu hasarlara ilişkin garanti ile sigorta süreçlerinin teknik veri ile desteklenmesi amacıyla kullanılacak olup, proje kapsamında temini esastır.

10.1. Standartlar ve Uygunluk

- Sensör, **IEC 61724-1:2021** standardı kapsamında tanımlanan fotovoltaik tesis izleme ve meteorolojik ölçüm gerekliliklerine uygun olmalıdır.

10.2. Teknik Özellikler

- **Sensör tipi:** Yatay rüzgâr hızını ölçebilen, rüzgâr yönünden bağımsız çalışan bir anemometre yapısında olmalıdır.
- **Çalışma Prensibi:** Kepçeli (cup type) anemometre prensibi ile çalışmalıdır.
- **Ölçüm aralığı:** Minimum 0,9 m/s – 60 m/s olmalıdır.
- **Ölçüm çözünürlüğü:** Minimum 0,1 m/s olmalıdır.
- **Ölçüm doğruluğu:**
 - 5 m/s'nin altındaki hızlarda $\pm 0,5$ m/s,
 - 5 m/s'nin üzerindeki hızlarda okunan değer $\pm 10\%$ 'u veya daha iyi olmalıdır.
- **Bozulma Hızı:** Minimum 60 m/s bozulma (survival) hızına dayanıklı olmalıdır.
- **Çalışma Sıcaklık Aralığı:** -40 °C... $+85$ °C (buzsuz koşullarda)
- **Çalışma gerilimi:** 12–30 V DC aralığında olmalıdır.
- **Veri çıkışı:** Sensör, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki çıkış seçeneklerinden en az birini desteklemelidir:
 - Darbe (pulse) çıkışı. Direkt Işınım sensörüne veya kompakt hava istasyonuna bağlanabilir.
 - Analog 4–20 mA çıkışı
 - RS-485 arayüzü üzerinden Modbus RTU haberleşme protokolü
- Haberleşme ve çıkış sinyalleri, endüstriyel gürültü ve saha koşullarından etkilenmeyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır.
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti

10.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- Sensör, açık saha ve PV santral ortamlarında uzun süreli kullanıma uygun, çevresel etkilere dayanıklı yapıda olmalıdır.
- Sensör gövdesi ve mekanik aksamaları, UV ışınımına, yağmur, rüzgâr ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı olmalıdır. Gövde eloksallı alüminyum veya ASA plastik kepçe ise ABS plastik malzemeden üretilmiş olmalıdır.
- Sensör, boruya veya zemine montaja uygun mekanik yapıya sahip olmalıdır. Bağlantı noktaları plastik gövdeye gömülmüş metal delikler olmalıdır. Çünkü vidaların direk plastik gövdeye sıkılması plastik malzemede zamanla çatlamalara ve kırılmalara neden olacaktır.
- Montaj sonrası sensör, ölçüm doğruluğunu etkileyecek titreşim veya mekanik zorlanmaya maruz kalmamalıdır.
- Kepçe yapısı, rüzgâr akışını doğru algılayacak aerodinamik tasarımda olmalıdır.
- Sensör kablosu, UV ve hava koşullarına dayanıklı, endüstriyel tip kablo yapısında olmalıdır.
- Kablo uzunluğu, minimum 1,5 metre ve PV santral uygulamaları için sahada montaja uygun olacak şekilde seçilmiş olmalıdır. Kompakt hava istasyonlarında daha kısa olabilir.



11. RÜZGÂR YÖN SENSÖRÜ

Rüzgâr Yön Sensörleri, fotovoltaik (PV) enerji santrallerinde çevresel koşulların izlenmesi, rüzgâr karakteristiğinin analiz edilmesi ve IEC 61724-1 standardı kapsamında meteorolojik veri sağlanması amacıyla kullanılacak rüzgâr yönü parametresinin ölçümünü sağlayan cihazlardır.

Rüzgâr yön verisi, gelen rüzgârın kuzey yönlü bir rüzgâr mı yoksa güney yönlü bir rüzgâr mı olduğunu, buna bağlı olarak da panelde ısınma etkisi mi soğuma etkisi mi yapacağını anlamak için kullanılır.

Belirtilen ölçüm hassasiyetini, çevresel dayanımı ve standart uyumunu sağlayamayan ürünler eşdeğer kabul edilmeyecektir.

11.1. Standartlar ve Uygunluk

- Sensör, IEC 61724-1:2021 standardı kapsamında tanımlanan fotovoltaik tesis izleme ve meteorolojik ölçüm gerekliliklerine uygun olmalıdır.
- Sensör, rüzgâr yönünün panel dizilimleri üzerindeki etkilerinin ve çevresel koşulların değerlendirilmesine imkân sağlayacak nitelikte olmalıdır.

11.2. Teknik Özellikler

- **Ölçüm Aralığı:** Rüzgâr yönünü 0–359° aralığında sürekli ve kesintisiz olarak ölçülebilmelidir.
- **Sensör tipi:** Kanatlı (vane type) yapı ile çalışan ve Hall etkisi konum algılama prensibine dayalı ölçüm yapabilmelidir.
- **Ölçüm çözünürlüğü:** Minimum 0,1° olmalıdır.
- **Ölçüm doğruluğu:** Okunan değer $\pm 1\%$ 'i seviyesinde veya daha iyi olmalıdır.
- Sensör, düşük rüzgâr hızlarında yön bilgisini algılayabilecek yapıda olmalı ve başlangıç rüzgâr hızı maksimum 1 m/s olmalıdır.
- **Çalışma Sıcaklık Aralığı:** -40 °C...+85 °C (buzsuz koşullarda)
- **Çalışma gerilimi:** 12–30 V DC aralığında olmalıdır.
- **Koruma sınıfı:** Sensör ve varsa sinyal dönüştürücü muhafazası; dış ortam koşullarına uygun ve minimum IP54 koruma sınıfına sahip olmalıdır.
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Veri çıkışı:** Sensör, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki çıkış seçeneklerinden en az birini desteklemelidir:
 - Analog 0–3,3 V çıkışı (tavsiye edilen). Direkt Işınım sensörüne veya kompakt hava istasyonuna bağlanabilir.
 - Analog 4–20 mA çıkışı
 - RS-485 arayüzü üzerinden Modbus RTU haberleşme protokolü
- Haberleşme ve çıkış sinyalleri, endüstriyel gürültü ve saha koşullarından etkilenmeyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır.

11.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları

- Sensör, açık saha ve PV santral ortamlarında uzun süreli kullanıma uygun, çevresel etkilere dayanıklı yapıda olmalıdır.
- Sensör gövdesi ve kanat yapısı, UV ışınımına, yağmur, rüzgâr ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı alüminyum veya ASA plastik malzemeden üretilmiş olmalıdır.
- Sensör, boruya veya zemine montaja uygun mekanik yapıya sahip olmalıdır. Bağlantı noktaları plastik gövdeye gömülmüş metal delikler olmalıdır. Çünkü vidaların direk plastik gövdeye sıkılması plastik malzemede zamanla çatlamalara ve kırılmalara neden olacaktır.
- Montaj sonrası sensör, ölçüm doğruluğunu etkileyecek mekanik zorlanma, boşluk veya titreşime maruz kalmamalıdır.
- Kanat yapısı, rüzgâr yönünü doğru ve kararlı şekilde algılayacak aerodinamik tasarımda olmalıdır.
- Sensör kablosu, UV ve hava koşullarına dayanıklı, endüstriyel tip kablo yapısında olmalıdır.
- Kablo uzunluğu minimum 2 metre ve PV santral uygulamaları için sahada montaja uygun olacak şekilde seçilmiş olmalıdır. Kompakt hava istasyonlarında daha kısa olabilir.



12. YAĞMUR SENSÖRÜ

Yağmur Sensörü, meteorolojik ölçüm ve PV performans izleme uygulamalarında yağış bilgisinin tespit edilmesi amacıyla kullanılacaktır. Yağış verisi; ışınım ölçümlerinin doğru değerlendirilmesi, enerji üretim analizleri ve bakım/temizlik planlaması için gerekli bir parametredir.

12.1. Standartlar ve Uygunluk

- Sensör, IEC 61724-1 kapsamında kullanılan izleme sistemleri ile uyumlu olmalıdır.

12.2. Teknik Özellikler

- **Ölçülen parametre:** Yağış miktarı
- **Algılama tipi:** Devrilme kovası
- **Ölçüm birimi:** mm/saniye, mm/dakika veya mm/saat
- **Ölçüm aralığı:** 0...500 mm/saat
- **Çözünürlük:** 0,2 mm veya daha iyi
- **Doğruluk:**
 - $\pm\%1$ (0 mm/h-30mm/h)
 - $\pm\%2$ (30 mm/h-100 mm/h)
 - $\pm\%5$ (100 mm/h-600 mm/h)
- **Çalışma sıcaklığı:** 0 °C ... +80 °C veya daha geniş
- **Sensör gövdesi:** UV dayanımlı, korozyona karşı korumalı malzeme
- **Montaj:** Montaj aparatları sensör ile beraber sağlanmalıdır.
- **Koruma sınıfı:** Minimum IP65 veya daha yüksek
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Veri çıkışı:** Sensör, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki çıkış seçeneklerinden en az birini desteklemelidir:
 - RS-485 (Modbus RTU)
 - PLS (Pulse – reed röle) (Kompakt hava istasyonuna bağlanabilir.)

Bu sensörler, devirme kova prensibi ile ölçüm yaparak verileri RS-485 üzerinden Modbus RTU protokolü ile veya reed röle darbe çıkışı ile iletebilmektedir.

12.3. Kalibrasyon ve Sertifikasyon

- Cihaz fabrika kalibrasyonlu olmalıdır.
- Kalibrasyon raporu / sertifikası teslim edilmelidir.
- Kullanım ve montaj kılavuzu ile birlikte teslim edilmelidir.
- Sertifikalarda sensör seri numarası açıkça belirtilmelidir.

12.4. Montaj ve Yerleşim Koşulları

Yağmur Sensörü montajı ölçüm doğruluğunu etkilediğinden aşağıdaki kurallara uygun yapılmalıdır:

- Sensör, su terazisi içermeli veya harici su terazisi kullanılarak tam yatay konumda monte edilmelidir.
- Sensörün üst kısmı açık gökyüzünü görecektir şekilde konumlandırılmalı, yağışın kovaya engelsiz ulaşması sağlanmalıdır.
- Sensör kovanına bakım ve temizlik amacıyla kolay erişilebilen bir noktaya montaj yapılmalıdır.
- Sensör, bina saçakları, paneller, direkler veya diğer yapılar tarafından yağış gölgelemesine maruz kalmayacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Montaj yüksekliği, sıçrama etkisini azaltacak ve çevresel kirlenmeyi minimize edecek şekilde seçilmelidir.

12.5. Bakım ve Periyodik Kontrol Gereklilikleri

Yağmur sensörünün ölçüm doğruluğunun korunması için bakım ve kontrol faaliyetleri düzenli olarak yapılmalıdır. Bu kapsamda bakım gereklilikleri, meteorolojik ölçüm ekipmanları için kabul gören IEC 61724-1 bakım yaklaşımı ile uyumlu olmalıdır.

Rutin Kontroller

- İzleme sistemi ve sensörler, IEC 61724-1:2021 standardının 5.6 Inspection bölümüne uygun olarak en az yılda bir kez ve tercihen daha sık aralıklarla kontrol edilmelidir.
- Montaj elemanlarında gevşeme, deformasyon veya mekanik hasar olup olmadığı kontrol edilmelidir.
- Sensör kovanında yaprak, toz, böcek vb. birikintiler olup olmadığı düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir.
- Su tahliye deliklerinin tıkalı olmadığı doğrulanmalıdır.
- Sensörün yatay konumu (libelle kontrolü) doğrulanmalıdır.

13. KAR SENSÖRÜ

Kar Sensörü, fotovoltaik (PV) modüller üzerinde oluşan kar örtüsünün neden olduğu kar kaynaklı üretim kayıplarını belirlemek amacıyla kullanılan ölçüm cihazıdır. Kar Sensörü aşağıdaki amaçlarla kullanılabilir:

- Kar nedeniyle oluşan üretim kayıplarının belirlenmesi
- Performans düşüşlerinin nedeninin analiz edilmesi
- Kış koşullarında santral performansının izlenmesi
- Tracker sistemlerde kar yükünden kurtulmak için

Kar ölçümleri ışınım karşılaştırmalı ölçüm prensibine dayanmalıdır. Bu kapsamda iki adet referans hücre kullanılır.

- Bir referans hücre PV modülleri ile aynı çevresel ve çalışma koşullarında kalırken
- Diğer referans hücre ısıtılarak kardan arındırılmış durumda tutulur

İki referans hücreden elde edilen ışınım değerleri karşılaştırılarak PV modülleri üzerindeki kar örtüsünün neden olduğu enerji kayıp oranı ölçülür.

Eğer kar oranı %10 ise, tesiste kardan dolayı %10 enerji kaybı yani performans düşüşü olduğu anlamına gelir.

13.1. Teknik Özellikler

- **Belirsizlik:** $\leq 2\%$ (IEC 61724-1:2021 standardına göre A Sınıfı)
- **Çözünürlük:** $\leq 1 \text{ W/m}^2$ (IEC 61724-1:2021 standardına göre A Sınıfı)
- **Ölçüm aralığı:** 0-1500 W/m^2
- **Hücre Görüş Açısı:** $>160^\circ$
- **Kar Oranı:** %0 - %100
- **Haberleşme Protokolü:** Modbus RTU veya SunSpec seçeneklerinden birisi, RS-485 fiziki donanım üzerinden.
- **Kablo Uzunluğu:** Direkt data logger veya SCADA sistemine bağlanmalıdır. Bunun için sahada ek yapmaya ihtiyaç olmayacak uzunlukta olmalıdır.
- **Kablo Özellikleri:** LIYYC11Y PUR Cable, 6 damarlı, Çift büküm sargılı, uzunluğa göre 24 AWG veya 26 AWG, UV dayanımlı, RS-485 haberleşme kablosu
- **Koruma sınıfı:** Minimum IP65 veya daha yüksek
- **Garanti süresi:** Minimum 2 yıl garanti
- **Malzeme:** UV dayanımlı, korozyona karşı korumalı malzeme
- **Besleme gerilimi:** 12...30 V DC (Önerilen 24 V DC)
- **Uyumlu Standartlar:** Işınım sensörü teknik özellikleri IEC 61724-1:2021 standardıyla tamamen uyumlu olmalıdır
- **Kalibrasyon:** IEC 60904-2 standardı gerekliliklerine göre yapılmalıdır.

13.2. Kalibrasyon ve Sertifikasyon

Kar sensörü iki adet ışınım sensöründen oluşmaktadır ve ilk kalibrasyonları bu dokümanın madde 3.3. Kalibrasyon bölümüne göre yapılması gerekir.

13.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları

Kar sensörü montajı gerçekleştirilirken madde 2.7. Genel Mekanik Montaj Kuralları bölümünde yer alan kurallara uygun şekilde yapılması gerekir.



14. KOMPAKT HAVA İSTASYONU

Kompakt Hava İstasyonu, tek bir kompakt gövde içerisinde birden fazla çevresel ölçümü entegre eden bir tasarıma sahip olmalıdır.

Kompakt Hava İstasyonu en az aşağıdaki parametreleri ölçebilme yeteneğine sahip olmalıdır:

- Referans Hücre (Işınım Sensörü), panel düzlemi ışınımı (Plane of Array – POA): Madde 3. IŞINIM SENSÖRÜ bölümüne göre olmalıdır
- Piranometre, küresel yatay ışınım (Global Horizontal Irradiance – GHI): Madde 4. PİRANOMETRE bölümüne göre olmalıdır.
- PV Panel Sıcaklık Sensörü: Madde 7. PANEL SICAKLIK SENSÖRÜ bölümüne göre olmalıdır.
- Ortam Hava Sıcaklığı Sensörü: Madde 8. ORTAM SICAKLIK SENSÖRÜ bölümüne göre olmalıdır.
- Bağıl Nem ve Basınç Sensörü: Madde 9. BAĞIL NEM SENSÖRÜ bölümüne göre olmalıdır.
- Rüzgâr Hız Sensörü: Madde 10. RÜZGÂR HIZ SENSÖRÜ bölümüne göre olmalıdır.
- Rüzgâr Yön Sensörü: Madde 11. RÜZGÂR YÖN SENSÖRÜ bölümüne göre olmalıdır.
- Yağış Sensörü: Madde 12. YAĞMUR SENSÖRÜ bölümüne göre olmalıdır.

Montaj Direği: SS304 veya daha üst sınıf Paslanmaz Çelikten imal edilmiş olmalıdır. Yüksekliği en az 1 metre olmalıdır ve en az 150 km/s rüzgâr şiddetine dayanabilmelidir. Bu rüzgâr yüküne dayanabildiğini gösterir hesap detayı onay aşamasında müşteri temsilcisine sunulmalıdır. İstasyonun mekanik tasarımı, entegre sensörlerin hiçbirinin -kurulum yönünden bağımsız olarak- istasyonun diğer bileşenleri tarafından **kendini gölgelemesi (self-shading)**, **termal etkileşim** veya **hava akışı engellenmesi** gibi etkilerden olumsuz etkilenmemesini sağlayacak şekilde olmalıdır.

14.1. Standartlar ve Uygunluk

- Kompakt Hava İstasyonunda kullanılan tüm sensörler IEC 61724-1:2021 standardı kapsamında tanımlanan fotovoltaik tesis izleme ve meteorolojik ölçüm gerekliliklerine uygun olmalıdır.

14.2. Haberleşme

Haberleşme, tek bir **RS-485 çıkışı** üzerinden **Modbus RTU protokolü** kullanılarak sağlanmalı ve standart PV veri kaydedicileri ile SCADA sistemleri ile uyumlu olmalıdır.

14.3. Montaj ve Yerleşim Koşulları

Kompakt Hava İstasyonu, fotovoltaik enerji santrallerinde uzun süreli açık alan kurulumuna uygun olacak şekilde **gerekli tüm montaj ekipmanları ve montaj yapısı** ile birlikte sağlanmalıdır.

15. GARANTİ VE BAKIM

15.1. Garanti Süresi

GES sahasında kullanılacak tüm sensörler, veri kayıt cihazları, haberleşme ekipmanları ve yardımcı bileşenler için yüklenici tarafından üretici garanti belgeleri eksiksiz olarak sağlanmalıdır. Garanti süreleri sensör tipine göre aşağıdaki şekilde uygulanacaktır:

- **Işınım sensörleri (piranometreler ve PV referans hücreleri): En az 5 yıl,**
- **Harici meteorolojik ve yardımcı sensörler (sıcaklık, rüzgâr, nem, yağış, tozlanma vb.): En az 2 yıl**

Belirtilen garanti süreleri, sensörlerin ölçüm doğruluğunu, elektronik ve mekanik bütünlüğünü ve IEC 61724-1 kapsamında tanımlanan izleme sürekliliğini kapsamalıdır.

Garanti kapsamında; ölçüm hataları, elektronik arızalar, çevresel koşullara bağlı donanımsal bozulmalar (UV, nem, sıcaklık değişimleri) ve normal kullanım koşullarında oluşabilecek performans kayıpları yer almalıdır. Sensörlerin ölçüm doğruluğu, tedarikçi tarafından sağlanan kalibrasyon sertifikasında belirtilen toleranslar dâhilinde garanti edilmelidir.

Garanti süresi boyunca oluşabilecek arızalarda yüklenici, ilgili ekipmanı **en fazla 20 iş günü** içerisinde onarmak veya eşdeğer teknik özelliklere sahip yeni bir sensör ile değiştirmekle yükümlüdür. Bu süre zarfında izleme sürekliliğinin korunması amacıyla geçici sensör temini veya alternatif ölçüm çözümü sağlanmalıdır.

Garanti kapsamındaki tüm değişim ve onarım işlemleri; IEC 61724-1 kapsamında tanımlanan montaj ve devreye alma esaslarına, ilgili elektriksel güvenlik gerekliliklerine ve üretici dokümantasyonuna uygun olarak gerçekleştirilmeli; değişim sonrasında sistem yeniden devreye alma kontrollerine tabi tutulmalıdır.

15.2. Yedek Sensörler

GES sahasında ölçüm sürekliliğinin kesintiye uğramaması için kritik sensörlerin yedekleri sahada hazır olarak bulundurulmalıdır. Yedek sensörlerin sayısı, sahada kullanılan sensör tipleri, performans izleme sınıfı (IEC 61724-1 Class A/B/C) ve işletme stratejisi dikkate alınarak belirlenir. Özellikle performans analizi, üretim optimizasyonu ve hata tespit süreçlerini doğrudan etkileyen **ışınım, sıcaklık, rüzgâr ve toz sensörleri için minimum birer adet yedek tutulması tavsiye edilir.**

Ayrıca IEC 61724-1'in saha büyüklüğüne göre tanımladığı sensör yoğunluğu kriterleri gereği, kurulu güç ve alan büyüdükçe sahada kullanılacak sensör sayısı artmaktadır. Bu durum yalnızca daha yüksek temsil doğruluğu sağlamak için değil, aynı zamanda herhangi bir sensör arızasında izleme sisteminin tamamen ölçümsüz kalmasını önlemek için de önemlidir. Bu nedenle büyük ve çok yönelimli PV sahalarında, artan sensör sayısına paralel olarak yedek sensör kapasitesi de artırılmalıdır. Böylece sahada meydana gelebilecek arızalarda veri kesintisi yaşanmadan sistem performansı izlenmeye devam edilebilir.

Yedek sensörlerin, sahada kullanılan ana sensörler ile aynı model veya eşdeğer ölçüm sınıfına sahip olması gerekir. Bu gereklilik, sensör değişimi sonrası veri tutarlılığının korunması açısından IEC 61724-1 standardında belirtilen ölçüm sürekliliği prensiplerine uygundur.

Yedek sensörler, kullanılmaya kadar üretici tarafından önerilen depolama koşullarında muhafaza edilmelidir. Sensör değişimlerinde tarih, saat ve gerekçe kayıt altına alınmalı ve işletme loglarında saklanmalıdır.

15.3. Bakım ve Temizlik Periyotları

GES sahasında kullanılan sensörlerin ölçüm doğruluğu ve sürekliliğinin sağlanması amacıyla bakım ve temizlik faaliyetleri düzenli ve planlı şekilde gerçekleştirilmelidir. Sensör yüzeylerinde birikebilecek çevresel kirlenmeler ölçüm sonuçlarını doğrudan etkileyebileceğinden, bu işlemler performans izleme sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır.

IEC 61724-1'e göre bakım ve temizlik periyotları; sensör tipi, izleme sınıfı ve saha koşulları dikkate alınarak belirlenmelidir. A Sınıfı izleme yürütülen sahalarda bu periyot **1 haftadır**. Toz sensörlerinde PV modül temizlik programlarıyla uyumlu olacak şekilde kirli ışınım sensörü de temizlenmelidir. Panellerin ne zaman temizleneceğine ise toz sensöründen gelen değere göre karar verilmelidir. Sensörden ölçülen kirlenme oranı tesisin üretim tutarıyla çarpılır eğer temizleme maliyeti bu tutardan düşük ise tesis temizlenir. Tesiste kurulu bir toz sensörü yok ise Taşınabilir toz sensörü kullanılarak da temizleme zamanına karar verilebilir. Birden fazla tesisi olan işletmeler taşınabilir toz sensörü kullanarak temizleme periyotlarını yönetebilirler.

Özellikle ışınım sensörlerinde kirlenme ölçüm doğruluğu doğrudan etkilediğinden kirlenmenin yoğun olduğu bölgelerde **otomatik temizleme özelliği** olan sensörler kullanılmalıdır. Aynı şekilde don ve kar yağışının sık olduğu bölgelerde ise **ısıtma özelliği** olan ışınım sensörü kullanılmalıdır.

Bakım faaliyetleri kapsamında aşağıdaki kontroller yapılmalıdır:

- Sensör yüzeylerinin temizliği kontrolü.
- Sensör kurulum açılarının kontrolü.
- Montaj elemanları ve kablolanmanın mekanik ve görsel kontrolü.
- Sensörlerin gölgelenmeye maruz kalmadığının ve çevresel engel bulunmadığının doğrulanması.
- Veri kaydı ve haberleşme sürekliliğinin kontrol edilmesi.

Toz (Kirlilik Tespit) sensörlerinde, sensör temizliği ile modül temizliği arasındaki zaman farkının kayıt altına alınması gereklidir.

Tüm bakım faaliyetleri, üretici tavsiyeleri ve saha koşulları dikkate alınarak planlanmalı ve izlenebilir şekilde kayıt altına alınmalıdır. Haftalık kontroller kayıt altında tutulmalıdır.

16. DOKÜMANTASYON

Tedarikçi; sistemin kurulumu, devreye alınması, işletilmesi ve bakım süreçlerinin eksiksiz yürütülebilmesi için tüm teknik dokümantasyonu güncel ve erişilebilir şekilde sağlamalıdır.

Sunulacak dokümanlar aşağıdaki asgari kapsamı içermelidir:

- **Kullanım Kılavuzları:** Sensörlerin ve ilgili ekipmanların çalışma prensiplerini, normal işletme koşullarını, temel fonksiyonlarını ve güvenlik uyarılarını açık ve anlaşılır şekilde açıklamalıdır.
- **Montaj Talimatları:** Mekanik yerleşim, yönlenme, çevresel koşullar ve montaj aparatlarına ilişkin uygulama esaslarını saha ekiplerinin hatasız kurulum yapmasına imkân verecek netlikte içermelidir.
- **Kalibrasyon Sertifikaları:** Sensörlere ait fabrika kalibrasyon bilgilerini, kalibrasyon tarihi, ölçüm belirsizliği ve doğrulama bilgileriyle birlikte içermelidir.
- **SCADA Entegrasyon Bilgileri:** Haberleşme protokolleri, veri noktaları, adresleme yapısı, birimler ve alarm tanımlarını içeren entegrasyon dokümanlarını kapsamalıdır.

Tüm dokümanlar dijital formatta teslim edilmeli, uzun süreli arşivlemeye uygun olmalı ve saha ile kontrol merkezi personelinin kullanımına hazır şekilde sunulmalıdır.

