

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ

Jeotermal İleri Sera Teknolojileri ve Üretim Teknikleri Ortak Uygulama ve Araştırma Merkezi
(JİSTUAM)

T.C. SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI - KOP BÖLGE KALKINMA İDARESİ BAŞKANLIĞI

FOTOVOLTAİK DESTEKLİ HİDROJEN PLAZMA KOMBİ SERA ISITMA SİSTEMİ

PİLOT PROJE UYGULAMA VE TEST RAPORU

Proje Koordinatörü: Doç. Dr. Hakan BAŞAK (K.A.E.Ü. JİSTUAM)

Proje Ortakları: Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi & Utet Arge Enerji
Hidrojen Mak. ve Kimya San. Tic. Ltd. Şti.

Destekleyen Kurum: Konya Ovası Projesi (KOP) Bölge Kalkınma İdaresi
Başkanlığı

Program Adı: Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Programı

Test Periyodu: Kasım 2024 – Mart 2025 (5 Aylık Isıtma Sezonu)

KIRŞEHİR, 2026

1. GİRİŞ VE PROJE GEREKÇESİ

Türkiye, sera yetiştiriciliği alan büyüklüğü açısından Avrupa'da 2. sırada, dünyada ise 4. sırada yer almaktadır. Son 21 yıllık süreçte ülkemizin toplam bitkisel üretimi %40 artış göstererek 137 milyon tona ulaşırken, örtüaltı (sera) üretimi %123 oranında büyüme kaydederek 9.4 million tona erişmiştir. Seracılık; üretimin yıl geneline yayılması, birim alandan yüksek gelir elde edilmesi, mevsim dışı ürün arzının sağlanması ve tarım sektöründeki gizli işsizliğin önlenmesi gibi çok kritik avantajlar barındırmaktadır.

Ancak, ülkemizdeki yaklaşık 541.000 dekar sera alanının yalnızca 21.000 dekarı modern sera altyapısına sahiptir ve kış döneminde düzenli olarak ısıtılabilir. Seralarda ısıtma giderleri, toplam işletme ve üretim giderlerinin %20 ile %60'ı gibi çok yüksek bir oranını oluşturmaktadır. Yüksek ısıtma maliyetleri sebebiyle, ısıtma sistemi bulunmayan seralarda aşırı soğuk dönemlerde üretim tamamen durdurulmakta ya da sadece don zararını engellemeye yönelik düşük verimli ilkel yöntemler kullanılmaktadır. Bu durum kış aylarında gıda arz güvenliğini ve işletme sürdürülebilirliğini baltalamaktadır. Ayrıca, düzenli ısıtma yapılamayan seralarda meyve tutumunu (döllenmeyi) sağlamak amacıyla bitki gelişim düzenleyici kimyasalların (hormonların) yaygın kullanımı insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Sera ısıtmasında jeotermal kaynaklar büyük avantaja sahip olsa da, bu kaynakların her bölgede bulunmaması, sondaj maliyetlerinin yüksekliği ve kabuklaşma problemleri yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır. Doğalgaz ve ithal kömür gibi fosil yakıtlar ise yüksek birim fiyatları, dışa bağımlılık ve yüksek karbon emisyonları nedeniyle sürdürülebilir değildir. Bu bağlamda, Türkiye'nin yüksek güneş enerjisi potansiyelinin Fotovoltaik (GES) sistemlerle elektriğe dönüştürülmesi ve bu elektriğin yüksek verimli Hidrojen Plazma Kombi sistemleriyle ısı enerjisine çevrilmesi, tarımsal üretimde devrimsel ve çevreci bir çözüm sunmaktadır.

2. PROJENİN AMACI, KAPSAMI VE ÖZGÜNLÜĞÜ

Projenin Temel Amacı: Yenilenebilir enerji kaynaklarından (GES) elde edilen elektrik enerjisiyle çalışan hidrojen plazma ısıtma sistemlerinin teknik performansını, maliyet etkinliğini ve tarımsal verimliliğe katkısını somut verilerle ortaya koymak; bu sistemi doğalgaz ve jeotermal gibi geleneksel enerji kaynaklarıyla karşılaştırarak ticari seralar için sürdürülebilir bir model geliştirmektir.

Projenin Özgünlüğü: Bu proje, dünya genelinde "geleceğin enerjisi" olarak kabul edilen yeşil hidrojen teknolojisinin ve hidrojen plazma kombi sisteminin sera ısıtmasında kullanıldığı ilk ve tek uygulama olma özelliğini taşımaktadır. Tüketilen elektriğin tamamının GES ile karşılanması, sistemi sıfır karbon emisyonlu tam sürdürülebilir bir AR-GE çalışması haline getirmektedir.

Proje Takımı: Proje, Koordinatör Doç. Dr. Hakan BAŞAK liderliğinde, araştırmacılar Müjdat ÖZTÜRK, Oğuz TAŞDEMİR, Alim AYDIN (KAEÜ), Nurullah DOĞMUŞ ve Hakan ŞAHİN (KOP) tarafından başarıyla yürütülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT (DENEYSEL KURULUM)

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi bünyesinde yer alan, her biri 216 m² alana sahip 3 adet modern pilot sera test alanı olarak tahsis edilmiştir. Seraların tamamında iklimlendirme ve besleme yönetimi *NutriControl* otomasyon sistemi ile kontrol edilmiş, bitkisel materyal olarak askılı domates yetiştiriciliği yapılmıştır. Seraların iklimlendirme hedef değerleri **Gece 14 °C, Gündüz 20 °C** sabit sıcaklık ve **%65 nem** olarak set edilmiştir. Karşılaştırmalı test tasarımı şu şekildedir:

- **Sera 1 (Test Grubu):** 79 kWe kurulu güce sahip Güneş Enerji Santrali (GES) destekli Yerli Hidrojen Plazma Kombi Sistemi ile ısıtılmıştır. Isıtma sezonu boyunca 30 kWe güç ayrılmıştır.
- **Sera 2 (Kontrol Grubu A):** Geleneksel Doğalgazlı Kombi/Kazan sistemi ile ısıtılmıştır.
- **Sera 3 (Kontrol Grubu B):** Jeotermal Enerji (ısı değiştirici/eşanjör altyapısı) ile ısıtılmıştır.

Sistemlerin tamamına entegre edilmiş elektrik sayaçları, doğalgaz sayaçları, ultrasonik kalorimetreler ve su sayaçları vasıtasıyla tüketilen enerji ve kaynak miktarları anlık ve günlük olarak kayıt altına alınmıştır.

4. ENERJİ TÜKETİMİ VE PERFORMANS TEST SONUÇLARI

4.1. Güneş Enerjisi Üretim Verileri

Proje kapsamında kurulan 79 kWe kapasiteli GES sisteminin yıllık toplam elektrik üretimi **126.467 kWh** olarak gerçekleşmiştir. Test serasının 5 aylık kış ısıtma periyoduna (Kasım-Mart) isabet eden üretim miktarları ve aylık ortalama güneşlenme süreleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Aylık Güneşlenme Süreleri ve GES Elektrik Üretim Değerleri

Yıl / Ay	Aylık Ort. Güneşlenme Süresi (Saat/Gün)	Toplam GES Üretimi (kWh)	Isıtma Serasına Tahsis Edilen Pay (30 kWe - kWh)
2024 / Nisan	5.0	11.907	4.522
2024 / Mayıs	5.5	13.099	4.974
2024 / Haziran	6.7	15.980	6.068
2024 / Temmuz	6.2	14.747	5.600
2024 / Ağustos	6.2	14.772	5.610
2024 / Eylül	4.9	11.540	4.382
2024 / Ekim	4.4	10.422	3.958
2024 / Kasım	2.3	5.370	2.039
2024 / Aralık	1.9	4.489	1.705
2025 / Ocak	2.7	6.447	2.448
2025 / Şubat	2.9	6.872	2.610
2025 / Mart	4.6	10.822	4.110
TOPLAM	4.4 (Ort.)	126.467	48.025

4.2. Hidrojen Plazma Kombi Tüketim Analizi

Rezistanslı elektrikli ısıtıcıların 100 birim enerjiyle sağladığı ısıyı, hidrojen plazma kombi sistemi yalnızca 35 birim elektrik enerjisi kullanarak ikame etmektedir. Sistem rezistanslı ısıtıcılara göre **2.86** kat, yani **%186 daha verimlidir**. 5 aylık ısıtma sezonunda Hidrojen Plazma Kombininin tüketim ve net üretim dengesi Tablo 2'de detaylandırılmıştır.

Tablo 2: 5 Aylık Isıtma Sezonu Hidrojen Plazma Kombi Tüketim Dengesi

Isıtma Ayı	Tahsis Edilen GES Üretimi (kWh)	Plazma Kombi Tüketimi (kWh)	Günlük Ort. Çalışma Süresi (Saat)	Net Şebeke Dengesi (Fark - kWh)
2024 / Kasım	2.039	3.291	3.7	-1.252
2024 / Aralık	1.705	5.865	6.5	-4.160
2025 / Ocak	2.448	6.402	7.1	-3.954
2025 / Şubat	2.610	8.776	9.8	-6.166
2025 / Mart	4.110	5.712	6.3	-1.602
TOPLAM	12.912	30.046	6.7 (Ort.)	-17.134

Enerji Dengesi Notu: 5 aylık kış döneminde plazma kombi toplam 30.046 kWh tüketmiş, aynı dönemdeki GES üretimi ise 12.912 kWh olmuştur. Aradaki 17.134 kWh şebekeden çekilmiştir. Ancak, yılın geri kalan 7 aylık üretim döneminde üretilen 17.979 kWh elektrik şebekeye geri verilerek (mahsuplaşma/On-Grid modeli) yıllık bazda **+845 ext{ kWh}** pozitif enerji dengesi elde edilmiştir.

5. SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRMALI VERİMLİLİK VE EKONOMİK ANALİZİ

Sistemlerin ekonomik analizlerinde elektrik birim fiyatı **4.91 TL/kWh**, doğalgaz birim fiyatı **14.23 TL/m³** ve jeotermal su kullanım bedeli **9.00 TL/m³** baz alınmıştır. Her bir seradan (216 m²) elde edilen toplam domates verimi 10.000 kg olarak gerçekleşmiştir. Yıllık işletme ve amortisman analiz sonuçları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3: Isıtma Sistemlerinin Karşılaştırmalı Ekonomik ve Teknik Analiz Matrisi

Isıtma Senaryosu / Sistemi	Toplam Tüketilen Kaynak Miktarı	Yıllık Brüt Isıtma Maliyeti (TL)	Net Isıtma Maliyeti (Mahsuplaşma Dahil)	1 kg Domates Isıtma Maliyeti (TL/kg)	Toplam Üretim Maliyeti (Isıtma+Girdi)	1 kg Domates Toplam Maliyeti	10.000 kg Domates Net Kârı (TL)	Sistem Geri Ödeme Süresi (Yıl)
30 kWe On-Grid Hidrojen Plazma (GES Destekli)	30.046 kWh Elek.	147.525 TL	0 TL (+88.277 TL Ek Gelir)	0.00 TL	42.500 TL	4.25 TL	495.777 TL	2.9 Yıl
30 kWe Off-Grid Hidrojen Plazma (Depolamasız)	30.046 kWh Elek.	147.525 TL	84.128 TL (Şebekeden)	8.41 TL	126.628 TL	12.66 TL	323.000 TL	6.0 Yıl
Geleneksel Doğalgaz Kombi Sistemi	8.758,93 m ³ Gaz + 2.832 kWh Elek.	138.545 TL	138.545 TL	13.85 TL	181.045 TL	18.10 TL	269.000 TL	2.6 Yıl
Jeotermal Enerji (Eşanjör Altyapılı)	3.557,76 m ³ Su + 7.485 kWh Elek.	68.767 TL	68.767 TL	6.88 TL	111.267 TL	11.13 TL	339.000 TL	2.2 Yıl

Ekonomik Bulguların Değerlendirilmesi (Benchmarking):

- **Doğalgaza Göre Karşılaştırma:** GES destekli On-Grid Hidrojen Plazma sistemi, domates kilogram maliyetini doğalgazlı sisteme kıyasla **%76.52 oranında iyileştirmiştir.**
- **Jeotermale Göre Karşılaştırma:** On-Grid Hidrojen Plazma sistemi, domates kilogram maliyetinde jeotermal sisteme göre **%62.05 avantaj sağlamıştır.** Jeotermalin bulunmadığı bölgeler için kusursuz bir alternatiftir.
- **Yıllık Yakıt Mukayesesi (ISIGER Verileri):** Kırşehir ekolojik koşullarında ISIGER uzman yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalara göre, 216 m² bir seranın yıllık kömür maliyeti 151.848 TL, teorik doğalgaz maliyeti ise 135.216 TL'dir. Deneysel test verilerimiz (Plazma kombi için 147.525 TL, Doğalgaz için 138.545 TL), simülasyon yazılımı çıktılarıyla tam bir tutarlılık sergilemiştir.

6. ÇEVRESEL ETKİ VE KARBON AYAK İZİ DEĞERLENDİRMESİ

Sistemlerin çevresel sürdürülebilirlik performansları, T.C. Enerji Bakanlığı kılavuzlarında belirtilen $0.492 \text{ ext{ ton } } CO_2 / MWh$ şebeke elektrik emisyon faktörü ve $2.02 \text{ ext{ kg } } CO_2 / m^3$ doğalgaz yanma emisyon faktörü baz alınarak hesaplanmıştır. 5 aylık periyottaki karbon salınımları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Isıtma Sistemlerinin 5 Aylık Toplam Karbon Emisyon Değerleri

Isıtma Sistemi	Elektrik Kaynaklı Emisyon (kg CO ₂)	Yakıt Kaynaklı Emisyon (kg CO ₂)	Toplam Karbon Ayak İzi (kg CO ₂)	Önlenen Emisyon / Net Çevresel Etki
Doğalgaz Sistemi	1.393 kg	17.693 kg	19.086 kg	Nötr (19 Ton Salınım)
Jeotermal Isıtma	3.682 kg	0 kg	3.682 kg	Düşük emisyon, yüksek altyapı riski
GES Destekli On-Grid Hidrojen Plazma	14.782 kg (Şebeke Payı)	0 kg	14.782 kg	-8.845 kg CO ₂ (Net Pozitif Katkı)

Çevresel Bulgular: Doğalgazlı sera işletimi havaya yaklaşık 19 ton CO₂ salarak çevre kirliliğine yol açmaktadır. GES destekli On-Grid Hidrojen Plazma kombi sisteminde ise, kışın şebekeden çekilen elektriğe karşılık, yaz aylarında üretilen ve üniversite sistemine aktarılan 17.979 kWh fazla elektrik sayesinde şebekede tam **8.845 kg karbon emisyonu tamamen engellenmiştir**. Ayrıca, yanma sonucu sadece su ve su buharı açığa çıkmaktadır.

7. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE SİSTEM AVANTAJLARI

- Teknik Sürdürülebilirlik:** Hidrojen plazma kombi sistemi %100 yerli ve milli imkanlarla geliştirilmiştir. Hareketli parçası minimum düzeyde olup, borularda kireçlenme/kabuklaşma yapmaz, sondaj ve kuyu bakımı gibi yüksek riskli ve maliyetli kalemler içermez. Kurulumu son derece pratiktir.
- Ekonomik Sürdürülebilirlik:** On-Grid net metering modeliyle üretici ısıtma maliyet yükünden tamamen kurtulmakta, yaz aylarında seranın soğutma, otomasyon ve aydınlatma giderlerini de bu sistemle sıfırlayabilmektedir. Sistemin geri ödeme süresi 2.9 yıl gibi ticari açıdan son derece cazip bir seviyededir.
- Gıda Güvenliği ve İnsan Sağlığı:** Seralarda ideal sıcaklık rejiminin (14-20 °C) otomasyonla kesintisiz sağlanması, düşük sıcaklıklarda yaşanan polen tozu yetersizliğini ortadan kaldırmıştır. Böylece meyve tutumunu tetiklemek için kullanılan kimyasal hormon preparatlarına duyulan ihtiyaç tamamen elimine edilmiş, organik kalitede, güvenli gıda üretimi gerçekleştirilmiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

KOP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı tarafından desteklenen ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi pilot seralarında başarıyla test edilen "Fotovoltaik Destekli Hidrojen Plazma Kombi Isıtma Sistemi", başlangıçta

hedeflenen teknik, ekonomik ve çevresel parametrelere %100 oranında ulaşmıştır. Sistem, özellikle jeotermal kaynakların bulunmadığı veya yetersiz kaldığı (30-50 °C düşük sıcaklıklı kaynakların hidrojen kombiyle desteklenmesi dahil) alanlarda ticari seracılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliği için benzersiz bir model sunmaktadır.

Ülkemizin tarımsal verimliliğinin artırılması, kış aylarında gıda arz kesintilerinin önlenmesi ve sera tarımında sıfır karbon hedeflerine ulaşılması amacıyla, **GES + On-Grid Yerli Hidrojen Plazma Kombi entegrasyon modelinin ticari modern sera yatırımlarında ulusal düzeyde teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması** stratejik olarak önem arz etmektedir.

Hazırlayan/Raporlayan:

KAEÜ JİSTUAM AR-GE Ekibi

Onaylayan:

Doç. Dr. Hakan BAŞAK

Proje Koordinatörü