

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANMA

Hüseyin GÜNERHAN

ÖZET

Denizlerde ve göllerde ağ kafeslerde veya karalarda havuzlarda insan kontrolünde balık üretmeye "Su Ürünleri Yetiştiriciliği" denir. Bu çalışmada, önce su ürünleri yetiştiriciliğinde jeotermal enerjiden yararlanma kapsamında geliştirilen bazı örnek projeler kısaca anlatılmış, genel tasarım ve hesaplama bilgileri verilmiştir. Sonra, su ürünleri yetiştiriciliği teknolojisi kapsamında ele alınan bir havuzdaki buharlaşma, taşınım, ışınım ve iletim ile olan ısı kayıplarına ait hesaplama yöntemleri ve bu kayıpların önlenmesi için bazı öneriler üzerinde durulmuştur. Amaç, su ürünleri yetiştiriciliğinde jeotermal enerjiden yararlanarak yapılacak havuzlara ait ön ısı hesaplama bilgilerini vermektir.

Anahtar Kelimeler: Su ürünleri yetiştiriciliği, jeotermal enerji.

ABSTRACT

"Aquaculture" stands for producing fish in seas and lakes in net cages or pools on land under the control of humans. In this study, first, some example projects developed in order to utilize geothermal energy in aquaculture is shortly explained and general design and calculation information are given. Second, calculation method of heat losses due to evaporation, convection, radiation and conduction in a pool treated with aquaculture technology are given and some advice on how to prevent the heat losses is given. The purpose is to provide information about the leading heat calculation in pools that shall be founded by utilizing geothermal energy in aquaculture.

Key Words: Aquaculture, geothermal energy.

1. GİRİŞ

Denizlerde ve göllerde ağ kafeslerde veya karalarda havuzlarda insan kontrolünde balık üretmeye "Su Ürünleri Yetiştiriciliği" denir. Su ürünleri yetiştiriciliği, en çok desteklenen ve gelişme gösteren dünya gıda sektörlerinden biridir. Dünya su ürünleri üretimi 140 milyon ton seviyesindedir ve bu üretimin %33 kadarı yetiştiricilik yolu ile sağlanmaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde ise toplam 1.3 milyon ton seviyesinde bir üretim vardır ve kişi başına balık tüketimi 23 kg miktarını bulmaktadır [1].

Su ürünleri yetiştiriciliğinde üretim miktarlarının artırılması için taze suyun ya da deniz organizmalarının kontrollü bir çevrede bulunması gerekir. Bu yöntemle sazan, yayın balığı, levrek, tilapia, kurbağa, kefal, yılan balığı, somon, mersin balığı, karides, ıstakoz, kerevit, yengeç, istiridye, çift kabuklular, tarak, midye, denizkulağı, kikkid (çiklet balığı) ve çeşitli timsah türleri üretilebilir. Su ürünleri isimlerinin İngilizce-Türkçe ve Latince karşılıkları Ek 1 ile verilmiştir.

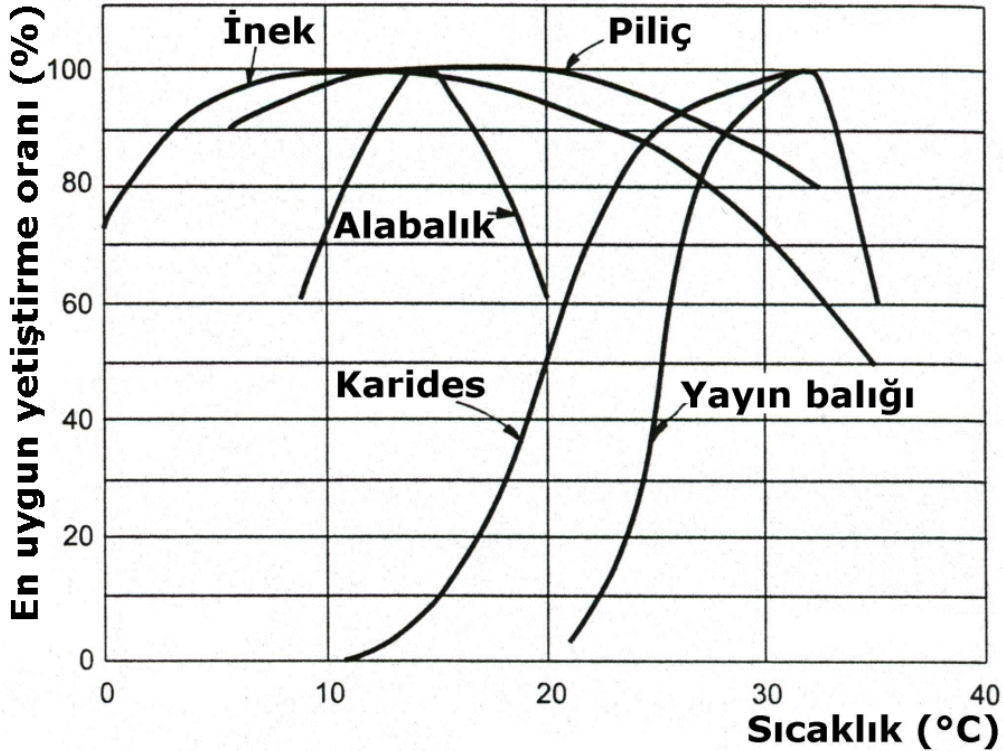
Su ürünleri yetiştiriciliğinde sadece güneşten sağlanan ısı enerjisine karşın jeotermal enerjinin kullanılması ile kısa bir süre içerisinde daha fazla üretim sağlandığı görülmüştür. Su sıcaklığı istenen değerlerin altına düştüğünde balıkların vücut metabolizmaları olumsuz yönde etkilenir ve balıklar

beslenme yeteneklerini kaybeder. İstenen özelliklere sahip bir jeotermal su ile sabit bir sıcaklık değerinin sağlanması, bu olumsuzluğu ortadan kaldırılabılır.

Ortam sıcaklığının, karada yaşayan canlılarla karşılaştırıldığında su ürünleri türleri için genelde daha önemli olduğu söylenebilir. Şekil 1 ile bazı kara ve su ürünleri türlerinin büyüme eğilimleri verilmiştir. Kara hayvanları, 10°C sıcaklıktan 20°C sıcaklığa kadar olan geniş bir sıcaklık aralığında iyi bir şekilde yetiştirilebilmektedir. Karides ve yayın balığı gibi su ürünleri türleri ise, daha yüksek sıcaklıkta ve dar bir sıcaklık aralığında üreme yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte alabalığın üreme yeteneği ise daha düşük bir sıcaklıkta yer almaktadır.

Dünyada başta Çin olmak üzere, Amerika Birleşik Devletleri, Türkiye, İsrail, İzlanda, Japonya ve Gürcistan gibi ülkelerde su ürünleri yetiştiriciliği yapılmaktadır [2].

Bu çalışmada, su ürünleri yetiştiriciliğinde jeotermal enerjiden yararlanma kapsamında önce Oregon Teknoloji Enstitüsü'nde geliştirilen örnek bir proje kısaca ele alınmış ve genel tasarım ve hesaplama bilgileri verilmiştir. Sonra, su ürünleri yetiştiriciliği teknolojisi kapsamında ele alınan bir havuzdaki buharlaşma, taşınım, ışınım ve iletim ile olan ısı kayıplarına ait hesaplama yöntemleri ve bu kayıpların önlenmesi için bazı öneriler üzerinde durulmuştur. Amaç, su ürünleri yetiştiriciliğinde jeotermal enerjiden yararlanarak yapılacak havuzlara ait ön ısıl hesaplama bilgilerini vermektir.



Şekil 1. Bazı Kara Hayvanları ve Su Ürünleri Türleri İçin En Uygun Yetiştirme Sıcaklıkları [2]

2. JEOTERMAL PROJE ÖRNEKLERİ

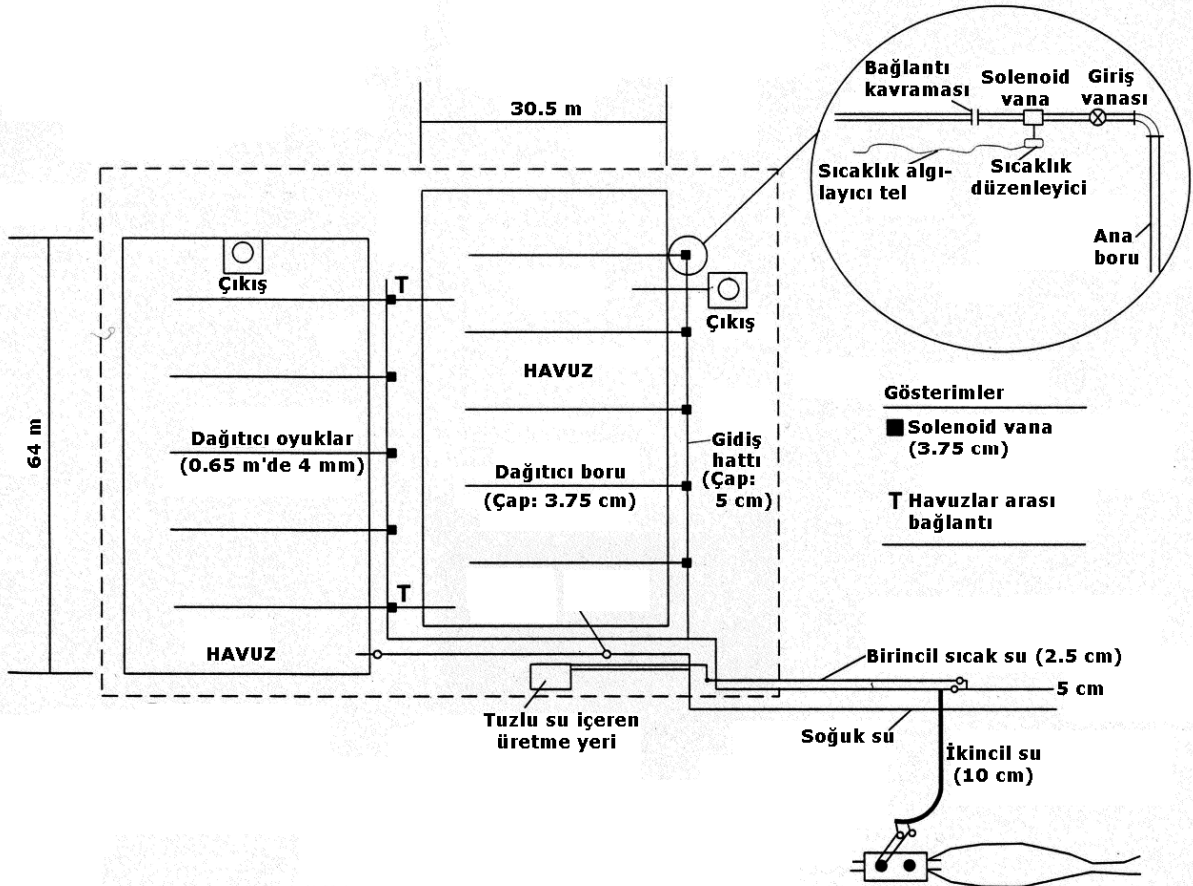
Japonya'da en çok yetiştirilen türlerin başında sazan ve yılan balığı gelmektedir. En karlı olanı ise yılan balığıdır. Yılan balıkları, çapı 25 cm ve uzunluğu 0.90 m olan topraktan yapılmış borular içinde yetiştirilmektedir. Borulardaki su, sıcak kaynak suyu ve ırmak suyunun karıştırılması ile 23°C sıcaklıkta tutulmaktadır. Erişkin yılan balıklarının ağırlığı 100 gr ile 150 gr arasında değişmekte ve yıllık toplam üretim 3800 kg dolayında olmaktadır. Jeotermal sularda turizm amaçlı olarak çeşitli cinsten timsahlar da yetiştirilmektedir [2, 3].

İzlanda'da bulunan on adet balık üretme tesisinde jeotermal su kullanılarak yılda 610000 adet somon ve alabalık yavrusu üretilmektedir, [2, 4].

Amerika Birleşik Devletleri'nde jeotermal su kullanan su ürünleri yetiştiriciliği projeleri Arizona, Idaho, Nevada, Oregon ve California bölgelerinde bulunmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Buhl yakınlarında kurulu bulunan bir su ürünleri şirketi, yüksek yoğunluklu betondan yapılmış su kanallarında yaklaşık 30 yıldır yayın balığı üretmektedir. Su kanallara, artezyen jeotermal kuyulardan 32°C sıcaklıkta 380 litre/s debide sağlanmaktadır. Kaynaklardan ve derelerden gelen soğuk su ise, jeotermal suyu -en iyi üretim sıcaklığı olan- 27°C ile 29°C arasındaki sıcaklıklara kadar soğutmak için kullanılmaktadır. Üretilen balıkların depolanma yoğunluğu 80 kg/m³ ile 160 kg/m³ arasında değişmektedir. Yıllık üretim genellikle taşıma kapasitesinin üç ya da dört katıdır. Oksijen ve amonyak, üretimi sınırlayan başlıca etmenler arasında yer almaktadır [2, 5]. Üreticiler yayın balığı yetiştirmeye ek olarak tilapya da yetiştirmektedir. Bunların üretimi sırasıyla 227 ton ve 45 ton seviyesindedir. Gökkuşluğu alabalığı ve mersin balığı soğuk suda bir birine komşu arazide yetiştirilir. Bu balıkların piyasaya verilmek üzere işlenmesi sırasında yıllık olarak 90 tonun üzerinde atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların imha problemini çözmek için, üreticiler 1994 yılında Amerikan timsahı yetiştirmeye başlamışlardır. Timsahlar balık atıklarıyla beslenmektedir ve et ve derileri için yıllık olarak hasat edilirler [2, 6].

Amerika Birleşik Devletleri'nde Oregon Teknoloji Enstitüsü'nde 1975 yılından 1988 yılına kadar dev tatlı su karidesleri (*Macro brachium rosenbergii*) yetiştirilmiştir. Bu araştırma alanında alabalık kültürü ve sivrisinek balığı (*Gambusia affinis*) üzerinde de araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar, su sıcaklığı en uygun düzeyde tutulduğunda, -7°C gibi düşük sıcaklığa sahip soğuk iklim koşullarında bile su ürünleri canlılarının ve tropikal eklembecaklıların yetiştirilebileceğini göstermiştir. Başlangıçta, her biri 0.2 ha (1 ha = 10000 m²) olan yetiştirme havuzları inşa edilmeden önce, 1.2 m derinlikte iki küçük dış mekan havuzu kullanılmıştır. Seçilmiş bir grup damızlık dev karides küçük bir kuluçkalık binasında tutulmuş, burada larvalar yapay tuzlu suda yumurtadan çıkartılmış ve larva sonrası aşamaya kadar bekletilmiştir. En fazla hayvan yoğunluğu için 900 cm² değerinde yüzey alanı ile ayda 2 cm değerinde büyüme oranları (tropikal alanlardakinin iki katı olarak) elde edilmiştir. En uygun sıcaklığı sağlamak için (27°C ile 30°C) besleme havuzlarındaki sistem, delikli dağıtıcı borular, kontrol vanaları ve sıcaklık kontrol elemanlarından oluşturulmuştur. Bu sistem ile jeotermal enerjinin havuzların her tarafına da eşit biçimde dağıtımı sağlanmıştır [2, 7]. Şekil 2 ile Oregon Teknoloji Enstitüsü'ndeki jeotermal havuz tasarımı verilmiştir.



Şekil 2. Oregon Teknoloji Enstitüsü'nde Geliştirilen Örnek Bir Proje [2, 7]

1987 yılında, en büyük ve en başarılı tatlı su balık üretme çiftliklerinden biri Yeni Zelanda'da bulunan Kuzey Adası'nda kurulmuştur. Wairakei güç santrali alanındaki jeotermal atık ısısından yararlanmak amacı ile balık çiftliği bu adada kurulmuştur. Balık çiftliğinde büyüklükleri 0.2 ha değerinden 0.35 ha değerine ve derinlikleri 1.0 m değerinden 1.2 m değerine kadar değişen dokuz adet havuz bulunmaktadır. Havuzlardaki su 24°C sıcaklıkta tutulmaktadır ve havuzların bir ucundan diğer ucuna gidildiğinde sıcaklık sadece 1°C olarak değişmektedir. Balık çiftliğinden yılda 30 ton değerine kadar karides üretebilmektedir. Erişkin karidesler yaklaşık 9 ayda hasat edilmektedir ve 30 veya 40 adedi 1 kg gelmektedir. Yakın gelecekte Wairakei santralının diğer tarafına da 40 ha değerinde ek bir su ürünleri çiftliği kurulacaktır. Bu balık çiftliğinde yapılacak ikinci bir santralın atık soğutma suyu kullanılacaktır ve böylece bu çiftliklerden yılda 400 ton değerinde bir üretim sağlanacaktır [2, 8].

Oregon Teknoloji Enstitüsü'nde elde edilen deneyimler sonucunda karides, sivrisek balığı ve alabalık için en iyi havuzların 0.1 ha yüzey alanına sahip olanlar olduğu görülmüştür. Hasat için en iyi havuz boyutu ise 15 m x 60 m olarak saptanmıştır. Ticari işletme için en az yüzey alanı değeri 3 ha ile 4 ha olmalı ve yaklaşık 30 adet ile 40 adet havuz içermelidir. Her bir havuz için düşünülmesi gereken en fazla yüzey alanı 0.2 ha olmalıdır. Tropikal balıklar için boyutları 5 m ile 30 m arasında değişen havuzlar kullanılabilir.

Ele alınması gereken en önemli konu, suyun kalitesi ve hastalıklardır. Eğer jeotermal su doğrudan kullanılacak ise, jeotermal suda balık ya da karideslerin yaşayıp yaşayamayacağını belirlemek için florür, klorür ve arsenik gibi maddelerin araştırılması gerekmektedir. Suyun balık havuzlarına verilmeden önce havalandırılması genellikle kimyasal sorunu çözer. Eğer gerekirse, jeotermal suyu havuz suyundan ayırmak için bir ısı değiştiricisi kullanılabilir.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılabilecek en iyi türler Çizelge 1 ile verilmiştir.

Çizelge 1. Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Kullanılabilecek En İyi Türler [2]

Tür	Yetiştirme süresi (ay)	Su sıcaklığı (°C)
Çiklet balığı (kiklid)	2-3	23-27
Yayın balığı	4-6	27-29
Alabalık	4-6	13-18
Karides	6-9	27-30
Tilapya	6-9	22-30

Çiklet balıkları genellikle yetiştirilmesi en kolay olan balıklardır ve küçük bir yatırım ile yüksek verim elde edilebilir. Bu balıklar için yukarıda verilen değerlerden daha küçük havuzlar kullanılabilir. İri tatlı su karidesleri özellikle fileto olarak yüksek piyasa değerine sahiptir. Üretim oranları su kalitesine ve suyun akış miktarına göre değişir. Tatlısu balığı, Amerika Birleşik Devletleri'nde en hızlı büyüyen su ürünlerinden biridir ve jeotermal işletmeler için çok uygundur.

Üstü açık havuzlar iklime de bağlı olarak, 0.2 ha açık yüzey alanı için 38°C ile 66°C sıcaklığındaki jeotermal suya ve 10 litre/s ile 25 litre/s tepe değerinde su akışına gereksinim duyar. Dalga hareketini ve ısı kaybını azaltmak için havuzun uzun eksenini egemen rüzgar yönüne dik olarak inşa edilmelidir. Sızıntı kaybını önlemek için havuzlar genellikle ekskavatör ile kazılmış ve kil ya da plastik ile astarlanmış olarak inşa edilir. Havuzlar, gabarcıklı plastik ile örtülerek ısı kayıpları önenebilir. Böylece kuyulardan elde edilen jeotermal akışkan gereksinimi azaltılır. Tesis maliyeti, jeotermal kuyular ve borular hariç, hektar başına (1 US\$ = 1.5 TL alınır), 112500 TL ile 187500 TL arasında değişmektedir [2].

3. SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE JEOTERMAL HAVUZ TASARIMI

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanıldığı su ürünleri yetiştiriciliği projelerinde ilk yapılması gereken hesap, jeotermal havuzun boyutlarının belirlenmesidir. Bu tür uygulamaları içeren birçok projede havuzların büyüklükleri, jeotermal enerji kaynaklarından çekilebilen en fazla ısı miktarı ile sınırlandırılmıştır. Jeotermal enerji kaynaklarının su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılmasına ait havuzlardan olabilecek ısı kayıplarını içeren ön hesaplamalar Bölüm 4 ile verildiği gibi olabilir.

Isı kayıplarını hesaplayabilmek için önce havuzun sahip olması gereken sıcaklığın belirlenmesi gerekmektedir. Çizelge 2 ile bazı su canlıları için uygun sıcaklıklar verilmiştir.

4. ISI KAYIPLARINA AİT ISI TRANSFERİ MEKANİZMALARI

Üstü örtülmeyen havuzlardaki su kütleleri ile atmosfer arasındaki ısı kayıplarını içeren ısı transferi, buharlaşma, taşınım, ışınım ve iletim olmak üzere 4 değişik yol ile gerçekleşebilir.

Bir havuzdan olabilecek en fazla ısı kaybı buharlaşma ile gerçekleşir. Buharlaşma ısı kaybı ile birlikte kütle kaybını da içerir. Buharlaşmanın olabilmesi için havuz sistemine ısı verilmesi gerekmektedir. 1 kg suyun buharlaşması için gerekli ısı, sıcaklığa ve basınca bağlıdır ve normal atmosfer koşullarında (normal koşullarda gazlar için sıcaklık 0°C ve basınç 1 atm alınır) gerekli ısı miktarı yaklaşık olarak 2440 kJ değerindedir. Havuzdan suyun buharlaşması sırasında havuzda kalan su kütesinden ısı çekilmesi gerekmektedir. Yani, 1 kg su buharlaştığında yaklaşık 2440 kJ değerinde ısı kaybı gerçekleşir [9, 10].

Çizelge 2. Bazı Su Canlılarına Ait Sıcaklık Gereksinimleri ve Büyüme Evreleri [9, 10]

Tür	Sıcaklık sınır değerleri (°C)	En uygun yetiştirme sıcaklığı (°C)	Büyüme evresi (gün)
İstiridye	0-36	24-26	730
Istakoz	0-31	22-24	730
Karides (Kuruma)	4-?	25-31	182-243
Karides (Pembe)	11-40	22-29	182-243
Somon	4-25	15	182-365
Büyük boy karides	24-32	27-30	182-365
Yayın balığı	17-35	27-29	182
Yılan balığı	0-36	23-30	365-730
Tilapya	8-41	22-30	-
Sazan	4-38	20-32	-
Alabalık	0-32	15	182-243
Tatlısu levreği	0-30	22-28	304
Çizgili levrek	?-30	16-19	182-243

Buharlaştırma kayıpları, su sıcaklığı ortam sıcaklığının altında olsa dahi gerçekleşebilmektedir. Buharlaştırma etkileyen etkenler, hava hızı ve havuz suyu basıncı ile havanın buhar basıncı arasındaki farktır. Havuz suyu sıcaklığı arttıkça veya havanın nem oranı azaldıkça buharlaştırma oranı artmaktadır.

Buharlaştırma miktarı, Denklem (1) ile verildiği gibi yazılabilir, [11].

$$\dot{V} = (S)(11 + 4.3V_a)(P_v - P_a) \quad (1)$$

Denklem (1) ile verilen \dot{V} , buharlaştırma hızını (kg/h); S, havuz yüzey alanını (m²); V_a , hava hızını (m/s); P_v , havuz suyunun buharlaştırma basıncını (bar-mutlak) ve P_a , havanın çiğlenme noktasındaki buharlaştırma basıncını (bar-mutlak) göstermektedir.

Kapalı havuzlar için ise Denklem (2) ile verilen eşitlik kullanılabilir, [11].

$$\dot{V} = (14.46)(S)(P_v - P_a) \quad (2)$$

Çizelge 3 ile bazı sıcaklıklar için P_v ve P_a değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. Bazı Sıcaklıklar İçin P_v ve P_a Değerleri [9, 10]

Su sıcaklığı (°C)	P_v (bar)	P_a (bar)
15	0.0170	Tasarım kuru termometre sıcaklığı 0°C sıcaklığının altında olan açık havuzlarda 0.0061 bar olarak alınabilir.
20	0.0234	
25	0.0317	Kapalı havuzlarda yaklaşık 24°C ortam sıcaklığı ve %50 bağıl nem için 0.0145 bar olarak alınabilir.
30	0.0424	

Buharlaştırma ile gerçekleşen ısı kaybı ($\dot{Q}_{\text{buharlaştırma}}$), Denklem (3) ile verildiği gibi, buharlaştırma miktarının buharlaştırma entalpisi (2440 kJ/kg) ile çarpılması ile bulunur. Hesaplanacak bu değer "en fazla" ısı kaybıdır. Böylece en kötü durumdaki tasarım değeri bulunmuş olur. Daha yüksek dış ortam sıcaklıklarında ve farklı bağıl nem değerlerinde bu değer azalabilir. Ayrıca buharlaştırma kaybının değeri havuz ile havadaki su buharının basıncı arasındaki farktan etkilenir. Düşük su sıcaklığı, buharlaştırma basınç farkını dolayısıyla buharlaştırma miktarını düşürür [9, 10].

$$\dot{Q}_{\text{buharlaştırma}} = \dot{V}(2440 \text{ kJ/kg}) \quad (3)$$

Denklem (3) ile verilen $\dot{Q}_{\text{buharlaşma}}$, buharlaşma ile gerçekleşen ısı kaybının birimi (kJ/h) olarak alınacaktır.

Rüzgar hızının buharlaşma ve taşınım kaybına önemli etkisi vardır. Isı kaybını hesaplarırken emniyetli olması için aşırı yüksek hava hızlarına göre hesap yapılmasına gerek yoktur. Çünkü genelde çok soğuk ortamlarda hava hızı çok yüksek değildir.

Ayrıca yüksek rüzgar hızlarının görüldüğü anlar uzun değildir. Suyun sahip olduğu ısıl kütle, yüksek rüzgar hızlarında suyun sıcaklığının düşmesini önler. Tasarım için ortalama rüzgar hızları Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden elde edilebilir.

Havuz yüzeyi alanı, dalga veya damlama tipi havalandırma cihazlarının oluşturduğu yüzey bozulmalarından etkilenebilir. Hesaplamalarda kullanılan yüzey alanı havuzun durağan olduğu kabulü ile hesaplanır. Eğer dalgalanma mevcutsa, yüzey alanı artırılmalıdır.

Havuzdan olan ikinci önemli ısı kaybı mekanizması taşınım ile olan kayıptır. Havuzun üzerinden geçen soğuk hava akımının havuz yüzeyinden ısı çekmesi ile gerçekleşir. Hava hızı ve hava ile havuz arasındaki sıcaklık farkı taşınım etkisi eder [12]. Açık havuzlar için Denklem (4) ile taşınım ile olan ısı kaybı hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = (9.045V_a)(S)(T_h - T_a) \quad (4)$$

Denklem (4) ile verilen $\dot{Q}_{\text{taşınım}}$, taşınım ile olan ısı kaybını (kJ/h); V_a , hava hızını (m/s); S, havuz yüzey alanını (m²); T_h , havuz suyu sıcaklığını (°C) ve T_a , hava sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Havuzun şekli ve egemen rüzgar yönü, taşınım ile olan ısı kaybının değerini etkiler. Burada kullanılan yöntem, uzunlukları 30 m değerine kadar olan havuzlar için geçerlidir. Çok büyük havuz alanlarında taşınım ile olan kayıplar, bu yöntemle hesaplanacak kayıplardan en fazla %25 daha düşük olabilir.

Kapalı havuzlar için Denklem (5) ile verilen eşitlik kullanılabilir [9, 10].

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = (22.6)(S)(T_h - T_a)^{1.25} \quad (5)$$

Isı kaybının üçüncü önemli bileşeni havuz ile hava sıcaklığının fonksiyonu olan ışınım kaybıdır. Işınım ile olan ısı transferi genelde katı cisimler arasında gerçekleşir. Havanın ve boşluğun ışınım ile olan ısı transferine etkisi yoktur. Ama ışınım yutma ve ışınım yayma katsayısı yüksek olan su buharı ve karbondioksit gibi gazlar ışınım ile olan ısı transferini etkiler. Havuzun üzerindeki hava, havuzdan olan buharlaşma kaybından dolayı büyük miktarda su buharı içermektedir. Bu durumda havuz suyu ile havayla aynı sıcaklığa sahip havadaki su buharı arasında ışınım ile ısı transferi gerçekleşir. Açık havuzlar için Denklem (6) ile ışınım ile olan ısı kaybı hesaplanabilir [9, 10].

$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = (1.836 \cdot 10^{-8})(S)[(492 + 1.8T_h)^4 - (492 + 1.8T_a)^4] \quad (6)$$

Denklem (6) ile verilen $\dot{Q}_{\text{ışınım}}$, ışınım ile olan ısı kaybını (kJ/h); S, havuz yüzey alanını (m²); T_h , havuz suyu sıcaklığını (°C) ve T_a , hava sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Havuzun yan duvarlarından ise iletim ile ısı kaybı olur. İletim ile olan ısı kaybı diğer kayıpların yanında ihmal edilebilir değerdedir. Havuzlardan iletim ile olan ısı kaybı Denklem (7) ile hesaplanabilir [9, 10].

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = [(L + W)(12.45) + (L)(W)(0.4084)][T_h - (T_a + 8.33)] \quad (7)$$

Denklem (7) ile verilen \dot{Q}_{iletim} , iletim ile olan ısı kaybını (kJ/h); L, havuz uzunluğunu (m); W, havuz genişliğini (m); T_h , havuz suyu sıcaklığını (°C) ve T_a , hava sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Yukarıda verilen hesaplama dikdörtgen kesitli havuzlar için geçerlidir ve havuz duvarlarında hiç sızıntı olmadığı varsayılmaktadır.

Hesaplanacak tüm kayıplar “en fazla” değerlerdir ve yılın herhangi bir zamanındaki kayıplar, bu değerlerin altında kalacaktır. Havuzun yıllık ısıtma gereksiniminin, hesaplanacak en fazla ısı kaybı değerinin 8760 h/yıl ile çarpılması ile hesaplanamayacağına dikkat edilmelidir. Çünkü sıcaklık, rüzgar, nem ve güneşten olan ısı kazancı yılın her gününde değişiklik göstermektedir [9, 10].

Çizelge 4 ile 50 m² yüzey alanına sahip (L = 10 m ve W = 5 m) örnek bir havuz için yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4. Örnek Isı Kaybı Hesabı Değerleri* [9, 10]

Isı Kaybı Türü	Isı Kaybı (kJ/h)	Oranı (%)
Buharlaşma	67900	47
Taşınım	39600	28
Işınım	30000	21
İletim	5500	4
TOPLAM	143000	100

* Havuz suyu sıcaklığı 25°C, hava sıcaklığı -10°C ve rüzgar hızı 2.5 m/s olarak alınmıştır.

4.1. Havuzlarda Yüzey Örtüsü

Havuzdan olan ısı kayıpları rüzgar hızından ve hava ile havuz sıcaklığı arasındaki farktan etkilenmektedir. Açık havuzlardaki kayıpları engellemek için yüzen köpük kullanımı uygun olabilir. Havuz yüzeyinde 127 mm kalınlığında yüzen köpük kullanımının etkileri Çizelge 4 ile verilen değerler kapsamında Çizelge 5 ile verilmiştir.

Çizelge 5. Yüzey Örtüsünün Isı Kayıplarına Etkisi [9, 10]

Isı Kaybı Türü	Isı Kaybı (kJ/h)	Oranı (%)
Buharlaşma	0	0
Taşınım	6400	41
Işınım	3500	23
İletim	5500	36
TOPLAM	15400	100

Çizelge 5 ile verilen değerler incelendiğinde kayıpların yaklaşık %11 oranında azaldığı görülmektedir. Yüzey örtüsü ile buharlaşma kaybının oluşmadığı görülmüştür. Bunun yanında yüzey örtüsünün ticari amaçlı uygulamalarda pratik bir yöntem olarak değerlendirilmediği söylenebilir [9, 10].

4.2. Kapalı Havuzlar

Kapalı havuz tasarımı ile ısı kayıpları azaltılabilir. Kapalı havuzların, hava hızının azalması, hava ile havuz sıcaklığı arasındaki farkın azalması, hava ile havuz arasındaki buhar basıncı farkının azalması ve bağıl nemi artması gibi artıları vardır. Bu etkiler taşınım, buharlaşma ve ışınım kayıplarını da azaltır.

Üzeri kapatılmış bir havuz için Çizelge 4 ile verilen değerler altında, hava hızı 0.05-0.15 m/s aralığına düşürülür, bağıl nem %90 oranına ve hava sıcaklığı 9°C sıcaklığına (dış hava sıcaklığı ile havuz suyu sıcaklığının ortalaması) yükseltilirse havuzun ısı kaybı Çizelge 6 ile verildiği gibi olabilir.

Çizelge 6 ile verilen değerler incelendiğinde kayıpların %54 oranında azaldığı görülmektedir. Kapalı havuzlarda hava doymuş duruma gelmez ve Çizelge 6 ile de verildiği gibi buharlaşma kaybı oluşur. Kapalı havuzlarda, hacim çatısının ve duvarlarının iç sıcaklıkları kış boyunca havanın çığlenme noktasının altındadır ve havuzdan buharlaşma ile sürekli sıvı kaybı olmaktadır [9, 10].

4.3. Isıl Kütle

Isı kayıplarını azaltmada kullanılan diğer bir yöntem de havuz suyunun sahip olduğu büyük ısıllı kütle kullanılmasıdır. Su çok iyi bir ısı depolama malzemesidir. Havuz derinliği 1.5 m olarak kabul edilirse, 50 m² yüzey alanı için toplam hacim 75 m³ olur. Suyun yoğunluğu 1000 kg/m³ olarak alınırsa havuzdaki su kütlesi 75000 kg olarak hesaplanır. 1 kg suyun 1°C soğuması için 4200 J ısı çekilmesi gerekir [13]. Yani, 75000 kg su 1°C soğutulduğunda 315000 kJ ısı açığa çıkar. Hesaplanan bu depolanmış ısı kapasitesi, sistemin en fazla ısı gereksinimini azaltmak için kullanılabilir. Çizelge 4 ile verilen 143000 kJ/h değerindeki en fazla ısı gereksinimi kullanarak aşağıda verilen hesaplamalar yapılabilir.

Çizelge 6. Kapalı Havuzda Oluşan Isı Kayıpları [9, 10]

Isı Kaybı Türü	Isı Kaybı (kJ/h)	Oranı (%)
Buharlaşma	37100	48
Taşınım	15300	20
Işınım	19200	25
İletim	5500	7
TOPLAM	77100	100

En fazla ısı gereksiniminin 8 saat boyunca oluşacağı kabul edilebilir. Bunun dışındaki sürelerde hava sıcaklığının artması ve güneşten olan ısı kazancı nedeniyle ısı yükü gereksinimi düşer. Ayrıca, ısıtma sisteminin en fazla ısı gereksiniminin %80 kadarını karşılamak için tasarlandığı kabul edilsin. Bu kabuller altında havuz sıcaklığı Denklem (8, 9 ve 10) ile verildiği gibi hesaplanabilir.

$$Q_{\%80} = (8 \text{ h})(0.8)(143000 \text{ kJ/h}) = 915000 \text{ kJ} \quad (8)$$

$$Q_{\text{fark}} = (8 \text{ h})(143000 \text{ kJ/h}) - Q_{\%80} = 229000 \text{ kJ} \quad (9)$$

$$\Delta T_{\text{su}} = Q_{\text{fark}} / [(75000 \text{ kg})(4.2 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1})] = 0.73^\circ\text{C} \quad (10)$$

Denklem (8) ile, sistemin %80 kapasiteye göre karşılaşılabileceği ısı miktarı hesaplanmıştır. Havuz suyunun soğumasına izin verilerek karşılanması gereken ısı miktarı farkı ise Denklem (9) ile bulunmuştur. Bu ısı miktarı farkını karşılamak için havuz suyu sıcaklığında gerçekleşmesi gereken düşüş değeri ise Denklem (10) ile elde edilmiştir.

Böylece su, 0.73°C soğumuş olur ama gün boyunca daha yüksek sıcaklıklar ve güneşten olan ısı kazançları nedeniyle ısı gereksiniminin daha az olduğu zamanlarda ısıtma sistemi havuz sıcaklığını eski sıcaklığına geri getirir.

Bu hesaplamada diğer bir yöntem, havuz ısı kaybı hesaplamalarında kullanılan çevre sıcaklığının seçimidir. En az hava sıcaklığı yerine ortalama hava sıcaklığının kullanılması, tasarımda havuzun ısıllı kütlelerinin ısı kaybı üzerindeki etkisinin göz önünde bulundurulmasına izin verir. Ortalama değerden daha yüksek hava sıcaklığının kullanılması çok ılıman iklimlerde güneşten olan ısı kazancının gün boyunca havuzun ısınmasını sağlayacağı kabul edildiğinde uygun olabilir [9,10].

Isıl depolamanın ısıtma sistemi tasarımını ne derece etkileyebileceği, çevresel koşullara, havuz özelliklerine ve havuz içinde yetiştirilen türlere bağlı karmaşık bir durumdur. Karides gibi bazı türler, sıcaklık değişimlerine duyarlıdır [9, 14].

4.4. Akışkan Gereksinimi

Bir havuzun en fazla ısı gereksinimini karşılamak için kullanılacak jeotermal akışkanın debisi, havuz suyu ile jeotermal kaynak arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonudur. Gerekli debi Denklem (11) ile verildiği gibi hesaplanabilir [9, 10].

$$\dot{m} = \dot{Q}_{\text{toplam}} / [c_p (T_{\text{jeo}} - T_h)] \quad (11)$$

Denklem (11) ile verilen \dot{m} , jeotermal akışkanın debisini (kg/s); \dot{Q}_{toplam} , buharlaşma, taşınım, ışınım ve iletim ile olan havuzun toplam ısı kaybını (J/s); c_p , özgül ısıyı [J/(kgK)]; T_{jeo} , jeotermal kaynak sıcaklığını (°C) ve T_h , havuz suyu sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Denklem (11) ile hesaplanacak değer, en fazla ısı gereksinimi için belirlenen en fazla debi değeri olacaktır. Hesaplanacak bu anlık değer dışındaki tüm debi değerleri, bu değer altında olacaktır. Havuzlarda yetiştirilecek türlere göre değişen sıcaklık seviyesinin üzerindeki sıcaklıklardaki ısıtma suyu, sıcaklığının düşürülmesi için soğutma suyuyla karıştırılmalıdır. Karıştırma için iki yöntem uygulanabilir. Birincisi, yeterince soğuk su varsa, sıcak su ile soğuk suyu havuza ulaşmadan önce karıştırmaktır. İkincisi ise, yeterli soğuk su yoksa havuz suyunu sıcak su ile karıştırmak üzere gerekli dolaşımın sağlanmasıdır. Bu dolaşımın yararlı etkisini artırmak için dolaşım suyu bir havalandırma sistemi ile birleştirilebilir. Her iki durumda da soğuk veya dolaştırılan su miktarı Denklem (12) ile belirlenebilir.

$$\dot{m}_{\text{soğuk}} = \frac{\dot{m}_{\text{sıcak}} (T_{\text{sıcak}} - T_k)}{T_k - T_{\text{soğuk}}} \quad (12)$$

Denklem (12) ile verilen $\dot{m}_{\text{soğuk}}$, soğuk su debisini (kg/s); $\dot{m}_{\text{sıcak}}$, sıcak su debisini (kg/s); $T_{\text{sıcak}}$, sıcak su sıcaklığını (°C); $T_{\text{soğuk}}$, soğuk su sıcaklığını (°C) ve T_k , karışım suyu sıcaklığını (°C) göstermektedir [9, 10].

SONUÇ

Bu çalışmada, su ürünleri yetiştiriciliğinde jeotermal enerjiden yararlanma kapsamında geliştirilen örnek projeler kısaca ele alınmış ve jeotermal havuzlar için ısı kaybı denklemleri verilmiştir. Verilen yöntemler, bu konuda çalışma yapacak kişilere havuzlardan olan ısı kayıpları konusunda genel bir bilgi vermek üzere sunulmuştur. Verilen denklemler çok karışık ilişkilerin basitleştirilmiş durumlarıdır ve bu denklemler sadece ön hesaplamalarda kullanılmalıdır. Bu çalışmada çeşitli havalandırma düzeneklerinden ve diğer durumlardan dolayı meydana gelebilecek kayıplardan üzerinde durulmamıştır. Son tasarım için yetkin bir kişiden yardım alınması önerilir.

EK 1. SU ÜRÜNLERİ İSİMLERİNİN İNGİLİZCE-TÜRKÇE VE LATİNCE KARŞILIKLARI

Bu çalışmada yer alan su ürünleri isimlerinin İngilizce-Türkçe ve Latince karşılıkları açıklamalı olarak Çizelge E1 ile verilmiştir.

Çizelge E1. Su Ürünleri İsimlerinin İngilizce-Türkçe ve Latince Karşılıkları

İngilizce	Türkçe	Açıklama ve Latince Karşılığı
Abalone	Deniz kulağı	Bu isim altında birçok türü vardır. Türkiye'de görülen: <i>Haliotis lamellosa</i>
Alligator	Timsah	Amerikan timsahı: <i>Alligator mississippiensis</i> , Çin timsahı: <i>Alligator sinensis</i>
Bass	Levrek	Genel isimlendirme
Carp	Sazan	<i>Cyprinus carpio</i>
Catfish	Yayın balığı	<i>Silurus glanis</i>
Clams	Çift kabuklular	Bu isim altında birçok türü vardır. Midye, istiridye gibi çift kabuklu yumuşakçalar)
Crab	Yengeç	Bu isim altında birçok türü vardır.
Crayfish	Kerevit	<i>Astacus leptodactylus</i>
Crustaceans	Eklembacaklılar	Yengeç, karides ve istakoz gibi canlılar
Eel	Yılan balığı	<i>Anguilla anguilla</i>
Frog	Kurbağa	Genel isimlendirme

Çizelge E1. Su Ürünleri İsimlerinin İngilizce-Türkçe ve Latince Karşılıkları (Devam)

Lobster	İstakoz	Bu isim altında birçok türü vardır. Türkiye denizlerinde görülen: <i>Homarus gammarus</i>
Mosquito fish	Sivrisinek balığı	Bu isim altında birçok türü vardır. Sivrisinek ile savaşımında kullanılır.
Mullet	Kefal	Genelde kefal balıklarına verilen isimdir. Bu isim altında birçok türü vardır.
Mussel	Midye	Bu isim altında birçok türü vardır. Kara midye: <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Mytilus edulis</i>
Oyster	İstiridye	<i>Ostrea edulis</i>
Penaeid shrimp-kuruma	Kuruma karidesi	<i>Penaeus japonicus</i>
Penaeid shrimp-pink	Derinsu pembe karidesi	<i>Parapenaeus longirostris</i>
Prawn	Büyük boy karides	Bu isim altında birçok türü vardır.
Rainbow trout	Gökkuşuğu alabalığı	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Red mullet	Barbunya/tekir	-
Salmon	Somon	Bu isim altında birçok türü vardır. Atlantik somonu: <i>Salmo salar</i> , Pasifik somonu: <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> , <i>Oncorhynchus keta</i> , <i>Oncorhynchus kisutch</i> , <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , <i>Oncorhynchus nerka</i>
Scallop	Tarak	Çiftkabuklu yumuşakça türündendir. Bu isim altında birçok türü vardır. Türkiye'de görülen: <i>Pecten jacobaeus</i>
Shrimp	Karides	Bu isim altında birçok türü vardır.
Striped bass	Çizgili levrek	<i>Morone saxatilis</i>
Sturgeon	Mersin balığı	<i>Acipenser sturio</i>
Tilapia	Tilapya	Bu isim altında birçok türü vardır. Türkiye'de görülen: <i>Tilapia nilotica</i>
Tropical fish (cichlids)	Kiklid (Çiklet balığı)	Bu isim altında birçok türü vardır. Tilapya'da bu türdendir.
Trout	Alabalık	Alabalıkların tümüne verilen isimdir.
Yellow perch	Tatlısu levreği	<i>Perca flavescens</i>

KAYNAKLAR

- [1] “Muğla Kültür Balıkçıları Derneği Başkanı İ. Bozan’ın çeşitli gazete ve dergilerdeki açıklamaları”, 2008.
- [2] Lund, JW, “Introduction to Geothermal Aquaculture”, Geothermal Energy Utilization and Technology, Edited by M.H. Dickson & M. Fanelli, Earthscan, 2006.
- [3] “Geothermal Energy Utilization in Japan”, Japan Geothermal Energy Association, Japan, 1974.
- [4] Georgsson, LS, Fridleifsson, O, “High Technology in Geothermal Fish Farming at Silfurstjarnan Ltd., N.E. Iceland”, Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, Vol. 17, No. 4, 1996.
- [5] Ray, L, “Channel catfish (*Ictalurus Punctatus*) Production in Geothermal Water”, Geothermal Resources Council Special Report 5, 1979.
- [6] Clutter, T, “Gators in the Sage”, Geothermal Bulletin, Vol. 30, No. 6, Geothermal Resources Council, 2001.
- [7] Smith, KC, “A Layman’s Guide to Geothermal Aquaculture”, Klamath Falls, Oregon, 1981.
- [8] Lund, JW, Klein, R, “Prawn Park: Taupo, New Zealand”, Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, Vol. 16, No. 4, 1995.
- [9] Rafferty, KD, “Aquaculture Technology”, Geothermal Energy Utilization and Technology, Edited by M.H. Dickson & M. Fanelli, Earthscan, 2006.
- [10] “Aquaculture Information Package”, Edited by T. Boyd & K. Rafferty, Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon, 2008.
- [11] “Handbook of Applications”, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, ASHRAE, Atlanta, 2003.
- [12] Wolf, H, “Heat Transfer”, Harder & Row, New York, 1983.
- [13] Çengel YA, Boles MA, Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla, Çeviri Editörü: A. Pınarbaşı, Editör Yardımcıları: E. Buyruk, C. Özalp, A. Bilgin, H. Günerhan, S. Basan, 5.Baskı’dan Çeviri, Güven Bilimsel, İzmir, 2008.
- [14] Johnson, WC, “Culture of Freshwater Prawns Using Geothermal Waste Water”, Geo-Heat Center, Klamath Falls, Oregon, 1978.

TEŞEKKÜR

İngilizce balık isimlerinin Türkçe ve Latince karşılıkları konusunda yardımcı olan, “Türkiye Deniz Balıkları Fihristi (2004)” ve “Türkiye Tatlısu Balıkları Fihristi (2005)” kitaplarının yazarı Sayın Mehmet Levent Artüz’e teşekkür ederim. Çizelge E1, Sayın Mehmet Levent Artüz’ün katkıları ile oluşturulmuştur.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin GÜNERHAN

İzmir Atatürk Lisesi’nden mezun olduktan sonra, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 1999-2000 yılları arasında, Milli Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesi Başkanlığı’nda (Ankara) proje subayı olarak görev yaptı. 2001 yılından beri, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalışmaktadır. 2004 yılında, Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezine (ÇEVMER) müdür yardımcısı olarak atanmıştır. TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Tesisat Mühendisliği Komisyonu üyesidir.