

JEOTERMAL ENERJİDEN AQUAKÜLTÜR UYGULAMALARINDA YARARLANMAK

Ahmet DAĞDA^{1/2} - Doç. Dr. Recep ÖZTÜRK^{}**

Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü - İSTANBUL
e-mail: (*) dagdas@yildiz.edu.tr - (**) orecep@yildiz.edu.tr

ÖZET

Jeotermal enerjiden pek çok alanda yararlanmak mümkündür. Başlıca yararlanma alanları; elektrik üretimi, bölgesel ve mekan ısıtma sistemleri, soğutma uygulamaları, sera ısıtması, kuru buz üretimi, kurutma işlemleri, endüstriyel amaçlı proses ısı elde edilmesi ve aquakültür uygulamalarıdır. Aquakültür; tatlı su ve ya denizde yaşayan canlıların üretimlerini hızlandırmak ve bu canlıların kontrollü bir ortamda yetiştirilmesini sağlamak ile ilgili uygulamaları kapsar.

Bu çalışmada, jeotermal enerjiden yararlanarak yapılan aquakültür uygulamaları hakkında genel ve teknik bilgiler verilmiş olup, örnek bir havuz ele alınarak temel ısı kayıpları hesaplanmış ve bu kaybı jeotermal enerjiyle karşılamak için gereken jeoakışkan debisi hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: aquakültür, jeotermal, balık üretimi

1. GİRİ^{1/2}

1999 yılı sonuna kadar toplam 55 ülkeden toplanan verilere göre jeotermal kaynaklı kurulum termal güç 16 209 MWt, yararlanılan toplam jeoakışkan debisi 64 416 kg/s ve kullanılan toplam enerji ise 162 009 TJ/yıl olmaktadır. Jeotermal enerjinin kullanılan kısmının sek-

örlere göre dağılımı; %37'si mekan ısıtma uygulamaları, %22'si banyo ve yüzme havuzu ısıtması, %14'ü ısı pompası uygulamaları, %12'si sera ısıtması, %7'si aquakültür uygulamaları, %6'sı endüstriyel amaçlı ısı işlemler ve kalan kısmı ise tarım ürünlerinin kurutulması, kar eritme, iklimlendirme uygulamaları ve diğer kullanımlardır (Lund ve Freeston, 2000). Görüldüğü gibi jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı ile ilgili önemli alanlardan birisi de aquakültür uygulamalarıdır. Bu uygulama ile deniz ve göllerde yaşayan bir çok balık ve diğer su canlıları daha hızlı ve ekonomik yetiştirilebilmektedir. Ülkemizde aquakültür uygulamalarında kullanılacak çok sayıda jeotermal kaynak bulunmaktadır. Diğer taraftan, ülkemizin endüstriyel anlamdaki su ürünleri üreticiliği faaliyetleri çok yetersizdir. Bu alanda, özellikle yurtdışı taleplerini karşılayabilecek, çok önemli bir potansiyelimiz vardır. AB ülkelerine ülkemizden hayvansal gıda olarak sadece balık ihraç edilebilmektedir. 2002 yılı verilerine göre yaklaşık 42 milyon dolarlık ihracat yapılmıştır. Ülkemizin su ürünleri üretimi 594 bin tondur ve bu üretimin 67 bin tonu kültür balıkçılığı ile yapılmaktadır. Halen ülkemizde 1450 adet balık çiftliği vardır. Ülkemizin su ürünleri ihracatı 90 milyon \$ civarındadır.

Doç. Dr. Recep ÖZTÜRK

1979 yılında İDMMA, Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans, 1990'da Yıldız Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü Enerji dalından Doktora ve 1998 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Hidro mekanik ve Hidrolik Makinalar Anabilim dalında Doçent Doktor ünvanını almıştır. Halen aynı Anabilim Dalında görev yapmaktadır.

Bu ihracatın %60'ı kültür balıkçılığında yapılmaktadır (Aqua Culture, 2003).

Aquakültür uygulamalarında yaygın olarak üretilen su canlıları; sazan, levrek, kefal, somon, karides, istakoz, yengeç, midye, kurbağa, kedi-balığı, yılan balığı, tilapiadır. Jeotermal enerjili aquakültür uygulamalarında, normal aquakültür uygulamalarına göre, az bir sürede daha çok balık üretilebileceği görülmüştür (Rafferty,1995). Normal uygulamalarda, balık üretim havuzları güneşin ısısından yararlanılarak ısıtılmaktadır. Bu durumda havuz suyu sıcaklıkları yıl boyunca ve gün içinde dalgalanmalar göstermektedir. Oysa jeotermal enerjiden yararlanılan sistemlerde havuz sıcaklığını yıl boyunca sabit tutmak mümkündür. Yapılan araştırmalar, balık üretim havuzlarının güneş ısısıyla ısıtıldığı havuzlarda, su sıcaklığının optimum sıcaklık seviyesinin altına düşmesi durumunda, balıkların metabolizmasının etkilendiğini ve yemek yeme yeteneklerini büyük ölçüde kayb ettiklerini ortaya koymaktadır (Rafferty,1995). Bu durum, balıkların büyüme ve gelişmesini azaltmaktadır. Oysa jeotermal enerjili uygulamalarda havuz sıcaklığı daima sabit tutularak, üretim ve zaman kaybı ortadan kaldırılabilir. Öte yandan, klasik aquakültür uygulamaları yumuşak iklimli bölgelerde yapılmaktadır. Jeotermal enerjiden yararlanılan aquakültür uygulamaları için böyle bir kısıt söz konusu olmayacaktır. Bugün çöl iklimine sahip bölgelerde bile jeotermal aquakültür, başarıyla uygulanabilmektedir (Rafferty K., 1999). Çünkü bu tip uygulamalarda, yerel iklim şartlarından etkilenmeden, havuz sıcaklığını yıl boyunca sabit tutmak mümkündür.

Aquakültür için gerekli jeotermal kaynak sıcaklığı 0 °C ile 50 °C arasında değişmektedir. Buna rağmen yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sular üzerine kurulacak kademeli yararlanma tekniklerinin son halkasını aquakültür balıkçılığı oluşturabilir. Günümüzde bu şekilde kurulu çok sayıda aquakültür uygulaması mevcuttur (Johnson,1978) (Johnson ve Smith,1981) (Bujakowski,

2000). Çeşitli deniz balıklarını da jeotermal enerji ve deniz suyundan yararlanarak üretmek mümkün olabilmektedir (Georgsson ve Fridleifsson, 1996).

2. AQUAKÜLTÜR BALIKÇILIĞINDA SU KALİTESİ

Aquakültür uygulamalarında kullanılan jeotermal akışkanlar, elektrik üretimi için kullanılan akışkanlardan oldukça farklıdır. Tablo 1, ABD-Imperial Valley'deki elektrik üretimi ve aquakültürde kullanılan jeotermal akışkanların arasındaki farkları özetlemektedir (Rafferty, 1999).

Tablo 1: ABD-Imperial Valley'deki elektrik üretim akışkanı ile aquakültür akışkanı arasındaki farklar		
	Elektrik Üretim Akışkanı	Aquakültür Akışkanı
Derinlik (m)	690	75
Sıcaklık (°C)	265	63
pH	6,1	7,8
Na (ppm)	47 300	980
K (ppm)	7 960	46
Ca (ppm)	23 600	132
Mg (ppm)	110	33
SiO ₂ (ppm)	435	65

Aquakültür uygulamaları için gereken su kalitesini etkileyen faktörler; sıcaklık, çözülmüş oksijen, azotlu atıklar, pH, alkalinite, sertlik, karbondioksit, salinite (Tuzluluk), klor, hidrojen sülfid olarak sıralanabilir. Bu faktörler yetiştirilecek balık türlerinin gelişmesini etkilerler.

Bu faktörlerin düzenli olarak ölçülmesi ve yönetilmesi, canlıların hayatta kalması ve sağlıklı büyümesi için, çok önemlidir. Aşağıda, su kalitesini etkileyen faktörlerin etkileri ve sınır değerleri kısaca açıklanacaktır (Boyd ve Rafferty).

Sıcaklık

Aquakültür uygulamalarındaki tüm biyolojik

ve kimyasal prosesler üzerinde, sıcaklığın önem yüksek seviyede çözülmüş oksijene denk gelir. li bir etkisi vardır. Her canlının, en iyi büyüme göstereceği, optimum su sıcaklığı değeri vardır. **Alkalinite** Sıcaklık, optimum değer altına düşer ve ya üsAlkalinite, sudaki çözülmüş karbonat ve bi - tüne çıkarsa, büyüme hızı azalır ve hatta ölümler karbonat iyonlarının bir ölçüsüdür. Alkalinitenin başlayabilir. uygun aralığı 20 ppm ile 300 ppm arasındır.

Çözülmüş Oksijen

Çözülmüş oksijen seviyesinin en düşük gü -Alkalinite, karbonat ve bikarbonat gibi negatif venli miktarı, sıcaklığa ve canlı türüne bağlıdır. iyonların bir ölçüsü iken, sertlik de kalsiyum ve 24 saatlik bir periyotta, havuzdaki çözülmüş ok magnezyum gibi pozitif iyonların bir ölçüsüdür. sijen seviyesi keskin bir şekilde değişim göste - Bazı türler için, suyun sertliği çok önemli olabilir. rebilir. En düşük çözülmüş oksijen seviyesi ge Sertlik 50 ppm'in üzerinde olmalıdır. nellikle gün doğumundan önce olurken, en yük sek seviye akşam üzerine doğru olur. Ilık su ba

Sertlik

Alkalinite, karbonat ve bikarbonat gibi negatif iyonların bir ölçüsü iken, sertlik de kalsiyum ve magnezyum gibi pozitif iyonların bir ölçüsüdür. Bazı türler için, suyun sertliği çok önemli olabilir. Sertlik 50 ppm'in üzerinde olmalıdır.

Ilık su ba

Karbondioksit

Karbondioksit problemleri genellikle, yer altı suyu kullanıldığında, çok miktarda balığın nakli yesi sırasında ve tekrar sirkülasyon olan sistemler kullanıldığında meydana gelebilir. Karbendioksit seviyesini kabul edilebilir ölçülerde tutabilmek için, havalandırma ve oksijen açısından zenginleştirme gibi işlemler yapılabilir.

Karbendioksit problemleri genellikle, yer altı suyu kullanıldığında, çok miktarda balığın nakli yesi sırasında ve tekrar sirkülasyon olan sistemler kullanıldığında meydana gelebilir. Karbendioksit seviyesini kabul edilebilir ölçülerde tutabilmek için, havalandırma ve oksijen açısından zenginleştirme gibi işlemler yapılabilir.

Azotlu Atıklar

Balıkların çoğu amonyak salgırlarlar. Sıcaklık ve pH, toplam amonyak-azot (TAN) oranında de ğişmeye sebep olur. Zehirli, iyonize olmayan formdaki TAN miktarı, pH ve sıcaklığın artma - Salinite, sudaki tüm iyonların toplam konsant - rasyonudur. Salinite, iyonize olmayan amonyağın konsantrasyonunu etkiler. Planlama safhası bo - yunca, suyun salinitesinin, yetiştirilecek türler için uygun olup olmadığını belirlemek için, sü - rekli olarak kontrol edilmesi gerekir. ppm'in üzerinde olduğunda büyüme azalabilir ve balıklar olumsuz etkilenir. Su ürünleri, birkaç yüz ppm'lik nitrat konsantrasyonuna dayanabilmekte dirler.

Salinite

Salinite, sudaki tüm iyonların toplam konsant rasyonudur. Salinite, iyonize olmayan amonyağın konsantrasyonunu etkiler. Planlama safhası bo - yunca, suyun salinitesinin, yetiştirilecek türler için uygun olup olmadığını belirlemek için, sü - rekli olarak kontrol edilmesi gerekir.

Klor

Şehir suyu genellikle 1 ppm'lik klor ile arz edilir. Sistemde eğer şehir suyu kullanılıyorsa, klor artışı ortadan kaldırılmalıdır. 0,02 ppm ka - dar yükseklikteki klor bile balıklar için stres kay nağıdır.

pH Değeri

Balıklar, en iyi büyümeyi, suyun pH seviyesi 6 ile 9 arasında olduğu zaman gösterirler. 4,5'un altında ve 10'un üzerindeki pH seviyelerinde ise ölümler meydana gelebilir. pH'ın en düşük sev - yeleri genellikle çözülmüş oksijenin en düşük seviyeleri ile bağlantılıdır. Yüksek pH, genellikle

Hidrojen Sülfid

Havuz suyunun oksijeni azalan dip kısmı ka - rıştırıldığında hidrojen sülfid salınabilir. Hidro - jen sülfid, çürük yumurta kokusuna sahiptir ve ba -

lıklar için son derece zehirlidir. Hidrojen sülfid-je otermal sularda da bulunabilir.

Tablo 2’de yukarıda bahsedilen faktörlerin tercih edilen sınır değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2: Aquakültür uygulamalarında su kalitesi faktörlerinin uygun değer aralıkları (Boyd ve Rafferty)

Su Kalitesi Faktörü	Balık kültürü için kabul edilen sınır değerleri
Sıcaklık	Balık türüne bağlıdır
Çözünmüş Oksijen	>4-5 ppm (bir çok tür için)
Toplam Amonyak-Azot (İyonize ve iyonize olmayan)	NH ₃ <0,02 ppm
Nitrit	<1 ppm; yumuşak sularda 0,1 ppm
pH	6-8
Alkalinite	50-300 ppm kalsiyum karbonat
Sertlik	>50 ppm, tercihen >100 ppm kalsiyum karbonat

Karbondioksit>10 ppm

Salinite Türe bağlıdır. Tipik olarak <0,5-1 ppt (Temiz su balıkları için)

Klor <0,02 ppm

Hidrojen Sülfid Seviye belirsizdir.

Tablo 3’de aquakültür uygulamaları için seçilen bazı türlerin sıcaklık gereksinimleri ve büyüme süreleri görülmektedir.

Tablo 3: Aquakültür uygulamaları için seçilen bazı türlerin optimum ve kabul edilebilir sıcaklık değerleri ile yetiştirme süreleri (Rafferty, 1995)

Türler	Optimum sıcaklık (°C)	Kabul edilebilir sıcaklık (°C)	Satılabilir hale gelme süresi (Ay)
Alabalık	17	0-32	6-8
Sazan	20-32	4-38	-
Tatlı su levreği (sarı)	22-28	0-30	10
Çizgili Levrek	16-19	?-30	6-8
Somon (Pasifik)	15	4-25	6-12
İstiridyeye	24-26	0-36	24
Istakoz	22-24	0-31	24
Pembe Karides	24-29	11-40	6-8

Tatlı su karidesi 28-31 24-32 6-12

Kedi Balığı	28-31	2-35	6
Yılan Balığı	23-30	0-36	12-24
Tilapia	22-30	8-41	12-24

3. AQUAKÜLTÜR UYGULAMALARINDA ISI PROSESLER

Bu bölümde, aquakültür uygulamalarında kullanılan bir balık havuzunun ısı kaybı hesaplarına ait bazı ampirik formüller verilerek bir örnek üzerinde bu kayıplar hesaplanacak ve bu ıyıyı sağlamak için gereken jeotermal akışkan debisi belirlenecektir. Üzerinde örtü olmayan bir havuz ile atmosfer arasında, buharlaşma, konveksiyon, radyasyon ve kondüksiyon ile ısı alışverişi olur (Rafferty, 1995).

Bu ısı kayıplarından her birisi, aşağıda ayrı ayrı olarak bahsedilen farklı parametrelerden etkilenirler. Konveksiyon ve buharlaşmayla olan gerçek ısı kayıpları, havuzun uzunluk ve genişliği ile rüzgara göre konumundan etkilenir. Son tasarım hesaplamaları için daha detaylı analizler yapılmalıdır.

3.1. Buharlaşma Kaybı

Buharlaşma kaybı, genellikle bir havuzdaki toplam ısı kaybının en büyük kısmını oluşturur. Buharlaşma söz konusu olduğunda, ısı kaybindan çok hacim kaybı akla gelir. Bununla birlikte suyu kaynatmak (ve buharlaştırmak) için ısı gerekmektedir. 1 kg suyu buharlaştırmak için gereken ısı miktarı sıcaklık ve basınçla değişir.

Havuz yüzeyinden buharlaşan su havuzdaki sudan sıvı ve buharlaşma ısısını çekecektir. Atmosferik şartlarda buharlaşma için gerekli ısı yaklaşık olarak 2258 kJ/kg alınabilir. Sıvı ısı ise havuz sıcaklığına bağlı olarak

Buharlaşma hızı, hava hızının ve havuz suyu ile havadaki su buharı arasındaki basınç farkının (buhar basınç farkı) bir fonksiyonudur. Havuz-sıcaklığı arttığında ve ya havanın bağıl nemi azaldığında, buharlaşma hızı artar (Boyd ve Rafferty). Buharlaşma miktarını veren denklem aşağıdaki gibidir:

$$W_b = (0,065 + 0,016 \cdot v) \cdot (P_w - P_a) \cdot A \quad (1)$$

Burada;

W_b : Buharlaşma miktarı (kg/h)

v : Hava hızı (km/h)

P_w : Havuz suyu sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı (kPa)

P_a : Havanın çığ noktası buhar basıncı (kPa)

A : Havuz yüzey alanı (m²)

Aşağıda v , P_w ve P_a için yaygın olarak kullanılan bazı değerler verilmiştir.

v için	8 km/h hızındaki rüzgar	
	16 km/h hızındaki rüzgar	
	24 km/h hızındaki rüzgar	
P_w için	15 °C'deki su için	$P_w = 1,765$ kPa
	21 °C'deki su için	$P_w = 2,5$ kPa
	27 °C'deki su için	$P_w = 3,495$ kPa
	32 °C'deki su için	$P_w = 4,812$ kPa
P_a için	- Dış mekanlarda -1 °C tasarım kuru termometre hava sıcaklığı için $P_a = 0,51$ kPa	
	- İç mekanlarda, 24 °C sıcaklık ve %50 bağıl nemdeki tasarımlar için $P_a = 1,454$ kPa	

Havuzda buharlaşma ile olan ısı kaybı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir;

$$q_b = \frac{W_b}{3,6} \cdot q \quad [W] \quad (2)$$

burada q , havuzdaki suyun buharlaşması için gerekli ısı olup kJ/kg alınacaktır.

Su yüzeyi üzerindeki rüzgar hızı, havuzun buharlaşma ve konvektif ısı kayıpları üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Havuzun tasarım ısı kayıpları hesaplanacağında, gerçekçi olmayan yüksek rüzgar hızlarını kullanmaya gerek yoktur.

Genellikle, en soğuk dış hava sıcaklıkları, yüksek rüzgar hızlarına eşlik etmezler. Bu tip hesaplamalarda ortalama rüzgar hızlarını kullanmak daha uygundur (Rafferty, 1995).

3.2. Konveksiyon Kaybı

Havuz yüzeyinden olan ısı kaybının ikinci ana mekanizması konveksiyondur. Bu ısı kaybı, soğuk havanın havuz suyu yüzeyi üzerinden geçmesiyle meydana gelen kayıptır. Konveksiyon kaybının büyüklüğünü etkileyen en önemli faktörler; rüzgarın hızı ve havuz yüzeyi ile hava arasındaki sıcaklık farkıdır. Konveksiyon kaybı aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir:

$$q_{cv} = 0,702 \cdot v \cdot A \cdot (T_w - T_a) \quad (3)$$

Burada;

q_{cv} : Konveksiyonla olan ısı kaybı (W)

v : Hava hızı (km/h)

A : Havuz alanı (m²)

T_w : Su sıcaklığı (°C)

T_a : Hava sıcaklığı (°C)

Havuzun şekli ve hakim olan rüzgarın yönü konvektif ısı kayıplarını etkiler. Burada kullanılan metod, 30 m'ye kadar olan havuz boyutlarına kadar uygundur. Çok büyük havuzlar için konvektif ısı kayıpları burada hesaplanan değerden %25 kadar daha az alınabilir (Rafferty, 1995).

Buharlaşma ve konvektif kayıplar, kullanılan havalandırma sisteminin tipinden de etkilenebilir. Püskürtme ve ya dalgalanma etkilerini kapsayan bazı sistemler ısı kaybını artırabilir. Havalandırma dolayısı ile oluşan ısı kaybı ayrıca hesaplanmalıdır.

3.3. Radyasyon Kaybı

Toplam ısı kaybının en büyük üçüncü kısmı olan radyasyon ısı kaybı, temelde, havuz yüzeyi sıcaklığı ile çevre havası sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Bu prosesi açıklayan denklem şöyledir,

$$q_{rd} = 0,174.10^{-5}.0,0308.[(273 + T_w)^4 - (273 + T_a)^4].A \quad (4)$$

Burada;

q_{rd} : Radyasyon ısı kaybı (W)

T_w : Havuz suyu sıcaklığı (°C)

T_a : Havuz sıcaklığı (°C)

A: Havuz yüzeyi alanı (m²)

3.4. Kondüksiyon Kaybı

Isı kayıplarının sonuncu tipi kondüksiyonla olan ısı kaybıdır. Bu kayıp, havuz cidarlarından dolayı oluşan kayıptır. Diğer kayıp mekanizmalarıyla kıyaslandığında kondüksiyon kaybı en küçük olan kayıptır ve bu nedenle bir çok hesaplamada ihmal edilir. 1-1,5 m derinlikteki bir havuz için aşağıdaki bağıntı geçerlidir.

$$q_{cd} = 3,46.[L+W+(0,0328.L.W)].[T_w - (T_a + 8,33)] \quad (5)$$

Burada;

q_{cd} : Kondüksiyon ısı kaybı (W)

L : Havuz uzunluğu (m)

W : Havuz genişliği (m)

T_w : Tasarım su sıcaklığı (°C)

T_a : Tasarım dış hava sıcaklığı (°C)

Bu bağıntıda, havuzun yalıtılmış konstrüksiyonda olduğu kabul edilir yani havuz cidarlarından ya da tabanından su sızıntısı olmadığı varsayılır.

Yukarıda belirtilen bağıntılarla bulunan ısı kayıpları, pik veya maksimum ısı kayıplarıdır. Belirli bir zamanda ve tasarım hesabının dışındaki uygulamalarda, ısı kaybı bu değerden daha az olur. Yıllık ısı ihtiyacı, pik ısı ihtiyacının 8760 h/yıl ile çarpımıyla hesaplanamaz. Çünkü bu hesap için, havadaki sıcaklık, rüzgar, nem değişimlerinin ve güneşten kazanılan ısının da dikkate alınması gerekir. Yıllık ısı ihtiyacının hesaplanması bu çalışmanın konusu değildir.

Aquakültür ısı hesaplarına ait bir uygulama
45 m² (3 m x 15 m) yüzey alanındaki bir ha-

vuz ele alalım. Bu havuz -4 °C tasarım sıcaklığına sahip bir açık alanda olsun. Rüzgar hızı 8 km/h ve havuz suyu sıcaklığı 27 °C ise havuzun toplam ısı kaybını hesaplayalım.

Öncelikle buharlaşma miktarını bulalım;

$$W_b + (0,065 + 0,016.8).(3,495 - 0,51).45 \quad [\text{kg/h}]$$

$$W_b = 25,92 \text{ kg/h bulunur.}$$

Havuzun buharlaşma ile ısı kaybı Denklem (2)'den aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$q_b + \frac{25,92}{3,6} \cdot 2560$$

$$q_b = 18435 \text{ W}$$

Bu değer ısı kaybının pik ya da tasarım değeridir. Verilen örnekte hesaplamamızın, tasarım şartlarına göre (en kötü şartlar) yapıldığı not edilmelidir. Daha yüksek dış hava sıcaklıklarında ve farklı bağıl nemlerde bu değer azalacaktır. Örneğin bahsedildiği gibi, buharlaşma miktarı, havuz suyu ve havadaki su buharı arasındaki buhar basıncı farkından etkilenir. Su sıcaklığı azaldığında buhar basınç farkı ve bundan dolayı da buharlaşma hızı azalır.

Havuzun konveksiyon ısı kaybı Denklem (3) kullanılarak hesaplanır;

$$q_{cv} = 0,702.8.45.(27 - (-4))$$

$$q_{cv} = 7834 \text{ W}$$

Havuzun radyasyon ile oluşan ısı kaybını Denklem (4) ile hesaplırsak,

$$q_{rd} = 0,174.10^{-5}.0,0308.[(273+27)^4 - (273+(-4))^4].45$$

$$q_{rd} = 6907 \text{ W}$$

Havuzun kondüksiyon ile olan ısı kaybını da Denklem (5) ile hesaplayalım;

$$q_{cd} = 3,46.[15+3+(0,0328.15.3)].[27 - (-4+8,33)]$$

$$q_{cd} = 1528 \text{ W}$$

Tablo 4, 45 m ² 'lik havuz için yapılan hesaplamaların sonuçlarını özetlemektedir.		
Tablo 4: Örnek ısı kayıplarının özeti		
Isı kayıpları	Kayıp (W)	Oran (%)
Buharlaşma	18 435	53,12
Konveksiyon	7 834	22,57
Radyasyon	6 907	19,90
Kondüksiyon	1 528	4,41
Toplam	34 704	100

Böylece örnek olarak incelediğimiz aquakültür havuzumuzun toplam ısı kaybı 34 704 W olarak bulunur. Tablo 4'ten de görüldüğü gibi en yüksek kayıp oranı %53,12 ile buharlaşma kaybindan dolayı olmaktadır. En az kayıp ise % 4,41 ile kondüksiyon kaybinda olmaktadır.

4. ISI İHTİYACININ AZALTILMASI

4.1. Havuz yüzeyi örtüsü

Havuz yüzeyinden kaybolan ısı, rüzgar hızı ve havuz ile çevre arasındaki sıcaklık farkından oldukça etkilenir. Bu değerlerden herhangi birini azaltmak için kullanılan bir yöntem, ısı ihtiyacını önemli ölçüde azaltacaktır.

Bu sonuç büyük ölçüde, yüzebilir tip örtünün kullanılmasıyla buharlaşma kaybının ortadan kalkmasının bir sonucudur. Fakat üzülerek belirtmeliyiz ki bu tip bir örtü, genellikle ticari aquakültür uygulamaları için pratik değildir.

4.2. Havuz ihatası:

Havuz ihatası, ısı kaybını azaltmak için kullanılabilecek daha pahalı bir sistemdir. İhata tarafından sağlanan avantajlar büyük ölçüde kullanılan konstrüksiyon tekniklerine bağlıdır (ihata malzemesi, basınç veya vantilasyon etkisinin yokluğu).

Havuz ihata yapmak için kullanılan konstrüksiyon metodları ve malzemeler çok çeşitlidir.

İhatanın temel avantajları şunlardır;

- Hava hızının azalması
 - Havuz ile çevresel hava arasındaki sıcaklık farkının azalması
 - Havuz suyu ile hava arasındaki buhar basıncı farkının azalması (bağıl nemin artırılması)
- Bu etkiler; buharlaşma, konveksiyon ve radyasyonla ilgili olan ısı kayıplarını azaltır.

4.3. Termal Kütle

Bir havuzun pik ısı ihtiyacını ya da havuz ısıtmasını azaltmak için son metod, suyun kendisi tarafından sağlanan büyük termal kütlenin kullanılmasında yatar. Su mükemmel bir ısı depolama ortamıdır. Örneğin 1,5 m derinliğinde ve 45 m² alanındaki bir havuzu ele alalım. Havuzun toplam hacmi 67,5 m³ olacaktır.

Bu hacimdeki suyun kütlesi (m);

$$m = V \cdot d$$

$$m = 67,5 \text{ m}^3 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 67500 \text{ kg}$$

Havuzdaki suyun özgül ısı $c_{su} = 1,163 \cdot 10^3 \text{ kWh/kg } ^\circ\text{C}$ 'dir.

1 kg su 1 °C soğutulduğunda 1,163.10⁻³ kWh ısı verdiği için, 67500 kg su içeren örnek havuzumuz 1 °C soğuduğunda 78,5 kWh ısı verir ki bu ısının karşılanması gerekir. Bu depolanan ısı kapasitesi ısıtma sistemindeki pik ısıtma ihtiyacını azaltmak için kullanılabilir. Orijinal örnekte hesaplanan 34704 W'lık pik ısı ihtiyacını kullanarak, termal depolamaya şöyle bir örnek verebiliriz. Pik ısı ihtiyacının gece 8 saatlik bir periyod boyunca olduğu, kalan zamanda hava sıcaklığının artması ve güneşten gelen kazançlar sebebiyle ısı yükünün azaldığı kabul edilebilir. Sistemin, pik ihtiyacının sadece %80'ini karşıladığı düşünülürse, havuz sıcaklığı ne olur?

Öncelikle, 8 saatlik periyot için gereken toplam ısı;

$$8 \text{ saat} \cdot 34704 \text{ W} = 277632 \text{ Wh} = 277,632 \text{ kWh} \text{ olur.}$$

İkinci olarak, hesaplanan ısının %80'inin sistem (havuzun termal kütlesi) tarafından sağlandı ğı kabul edilerek, sistemin vereceği ısı; $277,632 \cdot 0,80 = 222,1056 \text{ kWh}$ olur.

Sonra havuzun soğumasıyla karşılaşılması gereken farkı hesaplarız;

$$277,632 - 222,1056 = 55,5264 \text{ kWh}$$

Son olarak da, suyun istenilen sıcaklığı termal kütlesi sebebiyle karşılaşmasından dolayı havuz sıcaklığındaki düşüş;

$$55,5264 \text{ kWh} = 67\,500 \text{ kg} \cdot 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot ^3T$$

$$^3T = 0,7 \text{ }^\circ\text{C} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Sonuç olarak, havuz $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ kadar soğuyacaktır. Jeotermal ısıtma sistemi havuz sıcaklığını normal değere getirirken, gün boyunca hava sıcaklığının artması ve güneşten gelen kazançlar sebebiyle ısı ihtiyacı azalacaktır.

Havuzdaki bu tip sıcaklık dalgalanmaları bazı aquatik canlıların yaşamasını riske atabilir. Özellikle karidesler sıcaklık dalgalanmalarına karşı çok duyarlıdır (Johnson, 1978). Bu nedenle ancak jeotermal enerjiden faydalanarak bu canlıları verimli ve ekonomik üretmek mümkündür.

DEBİ İHTİYACI:

Belirli bir havuzun pik ısı ihtiyacını karşılamak için gereken debi, kaynak sıcaklığı ile havuz suyu sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonudur. Debi ihtiyacının (\dot{m}) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılabilir;

$$\dot{m} = \frac{q_{\text{top}}}{c_{\text{su}} \cdot (T_w - T)} \quad [\text{kg/h}] \quad (6)$$

Burada,

\dot{m} : Kaynağın debi ihtiyacı [kg/h]

q_{top} : Havuzun hesaplanan toplam ısı kaybı [kW]

T_r : Havuz sıcaklığı [$^\circ\text{C}$]

T_w : Kaynak sıcaklığı [$^\circ\text{C}$]

c_{su} : $1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg } ^\circ\text{C}$

Örnek havuzumuzun $40 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki bir jeotermal kaynak tarafından ısıtılacağını varsayalım. Buna göre;

$$\dot{m} = \frac{34,704}{1,163 \cdot 10^3 (40 - 27)}$$

$$\dot{m} = 2295,4 \text{ kg/h} \quad (0,637 \text{ kg/s})$$

Tekrar belirtmeliyiz ki bu değer pik ihtiyaç-değeridir. Diğer zamanlarda gereken debi ihtiyacı $0,637 \text{ kg/s}$ 'den daha az olacaktır.

Yukarıda bahsedilen metodlar, havuzlardaki ısı kayıpları konusunda ilgilenenlerin konuya bir başlangıç yapmalarını sağlamak için sunulmuştur. Kullanılan denklemler, çok karmaşık ilişkilerin basitleştirilmiş şeklidir ve sadece ön hesaplamalar için kullanılmalıdır. Bunlara ilave olarak, değişik havalandırma sistemlerinden ve diğer aktivitelerden doğan kayıplar hesaba katılmamıştır.

SONUÇ

Ülkemizde jeotermal kültür balıkçılığı ekonomik açıdan oldukça önemli olabilecek bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyel, kültür balıkçılığına ait teknik bilgi eksikliğinden dolayı değerlendirilememektedir. Ülkemizin şu andaki yıllık kültür balıkçılığı üretimi 67 bin tondur. Bu rakam, jeotermal enerjili kültür balıkçılığına ait olmayıp, normal uygulamaları kapsamaktadır. Oysa ülkemizde jeotermal kaynaklı kültür balıkçılığında kullanılabilecek irili ufaklı çok sayıda jeotermal kaynak bulunmaktadır. Düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklarımızı bu şekilde ekonomiye kazandırarak dünya pazarında önemli bir yer elde etmemiz mümkün olabilecektir. Özellikle

le Doğu Anadolu Bölgesi gibi düşük sıcaklıklı3) Boyd, T., Rafferty, K. "Aquaculture Infor -
jeotermal kaynaklara sahip ve kış mevsimi ol - mation Package". U.S. Department of Energy,
dukça sert geçen bölgelerde jeotermal kültür ba Idaho Operations Office.
lıkçılığı, bölge ve Türkiye ekonomisine önemli4) Johnson, W. 1981. "Use of Geothermal
bir katkı sağlayabilir. Çalışmanın diğer bölü - Energy for Aquaculture Purposes, Phase III - Fi
münde jeotermal aquakültür uygulamalarında nal Report". Geo-Heat Center.
kullanılabilecek bir havuzun ısı kayıplarını bul5) Bujakowski, W. 2000. "The Pilot Project of
maya yönelik bağıntılar incelenmiş ve havuzda Geothermal Heat Recuperation Cascade System
ki sıcaklığı sabit tutabilecek jeoakışkan debisi for Fish and Vegetable Breeding, The PAS MEERI
belirlenmiştir. Belirtilen sonuçlar ampirik bağn Geothermal Laboratory, Poland" In: Proceedings
tılardan elde edilmiştir ve ön fizibilite çalışma World Geothermal Congress. Kyushu, Japan,
ları için kullanılabilir. pp.3379-3383.

KAYNAKLAR:

- 1) Rafferty, K.1995. "Aquaculture". In: GeotHeat Center publications.
hermal Energy, edited by Dickson, M., Fanelli, M. 7) Georgsson, L., Fridleifsson, G., 1996 "High
John Wiley& Sons, pp. 155-167. Technology in Geothermal Fish Farming at Sið
2) Rafferty, K., 1999. "Aquaculture in the Im furstjarnan – Iceland". Orkustofnun National
perial Valley-A Geothermal success story".GHC Energy Authority Publication, Reykjavik, Iceland.
Bulletin-March. 8) Lund, J., Freeston, D. 2000. "World-wide

*Direct Uses of Geothermal Energy 2000". In:
Proceedings World Geothermal Congress. Kyus
hu, Japan, pp.1-21.*

9) *Aqua Culture. Haziran 2003. Sayı 3. Kùltür
Balıkçuları ve Su Ürünleri Yetiştiricileri Birlik
Derneđi Dergisi.*