

## TOPRAKLARIN TERMO-FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE ISISAL YAYINIM KATSAYISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İmanverdi EKBERLİ Coşkun GÜLSER Nutullah ÖZDEMİR  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Samsun

Geliş Tarihi: 01.10.2003

**ÖZET:** Isı taşınımının teorik ve deneysel incelenmesi ile yakından ilişkili olan topraktaki sıcaklık dengesi, toprak oluşumu ve bitki gelişiminde önemli bir etkiye sahiptir. Toprakların sıcaklık dengesinin ifade edilmesinde toprakların ısı absorplama özelliğini gösteren Albedo ( $\alpha$ ) katsayısı, ısı kapasitesi ( $C$ ), ısı iletkenlik katsayısı ( $\lambda$ ) ve ısısal yayılım ( $a^2$ ) gibi termo-fiziksel özellikler ile onlara etki yapan faktörlerin bir arada değerlendirilmesi gerekir. Bu nedenle toprakların termo-fiziksel özelliklerinin oluşumu ve değişimlerine etki yapan toprak nemi ve mineralojisi gibi faktörler bilinmelidir. Toprakların alt katmanlarındaki sıcaklık dengesinin belirlenmesi için katmanlara ait ısısal yayılım katsayıları belirlenmelidir. Toprak yüzeyi ve katmanlardaki amplitüt değişimine uygun olarak, her katmana ait ısısal yayılım katsayısının teorik olarak hesaplanması mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak sıcaklığı, Albedo, ısı kapasitesi, ısı iletkenliği, ısısal yayılım.

## ASSESSMENT OF SOIL THERMO-PHYSICAL PROPERTIES AND THERMAL DIFFUSIVITY CONSTANT

**ABSTRACT:** Heat balance in soil as related with theoretical and experimental examination of heat transfer has an important affect on soil formation and plant growth. To express the soil heat balance, some soil thermo-physical properties such as, Albedo constant ( $\alpha$ ), heat capacity ( $C$ ), heat conductivity constant ( $\lambda$ ) and thermal diffusivity ( $a^2$ ) should be evaluated with other factors affecting them. Therefore, some factors such as, soil moisture and mineralogy affecting thermo-physical properties must be known. To determine the heat balance in different soil layers, diffusivity constant can be determined for each soil layer individually using amplitude changes in soil surface and layers.

**Key Words:** Soil temperature, Albedo, heat capacity, heat conductivity, diffusivity.

### 1.GİRİŞ

Toprağın ısı depolama kapasitesi bitkilerin çimlenme hızı ve süresine, ürün verimine, toprakta oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlere etki yapan önemli bir faktördür. Toprak ısısına etki yapan faktörlerin incelenmesi tarımsal açıdan büyük öneme sahiptir. Topografya ve enlem derecesi gibi coğrafi koşulların yanında toprağın yapısı ve bitki örtüsü gibi faktörler de toprağın ısı dengesine etki ederler. Sıcaklık ve diğer doğal koşulların etkisi sonucunda toprakta oluşan ısı dengesi toprak oluşum süreci ile de ilişkili olup, toprak oluşum enerjisinin araştırılmasında ki önemli faktörlerdendir (Volobuyev,1974; Gerayzade,1982).

Atmosferdeki radyoaktif parçalanmalar, toprak içerisindeki kimyasal ayrışmalar ve yeryüzünün derinliklerinden açığa çıkan ısı ilaveleri dikkate alındığında, toprak için asıl ısı kaynağını güneşten yeryüzüne ulaşan radyasyon enerjisi oluşturmaktadır. Yer yüzüne ulaşan bu enerji mekanik, kimyevi ve ısısal gibi enerji çeşitlerine dönüşerek, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerinin oluşumuna etki etmektedir. Toprakların fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerindeki farklılıklardan dolayı, her bir toprak tipi farklı oranda günlük ısı birikimine sahip olmaktadır.

Toprakların ısı kaynağı ve akımı gibi bütün yüzey ısı süreçleri, toplam güneş radyasyonu-atmosfer-toprak şeklinde ki üçlü blok sistemi içerisinde gösterilebilir (Greçişev ve ark.,1984). Toplam güneş radyasyonu bağımsız enerji kaynağı olup, toprak yüzeyi ve atmosfer tarafından tutulmakta veya yansımaktadır. Yansıyan radyasyonun toprak yüzeyi ve atmosfer tarafından bir kısmının tekrar tutulması mümkün olabilir (Ross,1975). Yansıyan radyasyon yansıdığı ortamın (toprak yüzeyi, toprak örtüsü sistemi veya atmosfer bileşenleri) sıcaklığı ile fonksiyonel ilişki içerisinde. Toprak yüzeyine veya alt katmanlara yönelen ısı akımı, atmosfere yönelen türbülans ısı akımı ve buharlaşmaya harcanan gizli ısı akımları sıcaklığa bağlı olmaktadır. Toprak profilinde sıcaklık günlük, aylık veya yıllık olarak değişim göstermektedir. Bu değişim bir gün veya bir yıl olmak üzere zamanın periyodik fonksiyonları şeklindedir. Toprak yüzeyinde sıcaklık değişimi fazla olup, aşağı katmanlara doğru inildikçe azalmaktadır. Toprağın 35-100 cm derinliğinde ise sıcaklığın günlük değişimi pratik olarak sabit değerlere ulaşmaktadır.

Toprak sıcaklığının değişimi toprak rutubetinin değişimine ve toprakta su dengesinin oluşumuna önemli etki yapmaktadır. Toprakta suyun taşınım potansiyeli, toprak sıcaklığı ve

rutubetinin bir fonksiyonudur. Gözenekli bir yapıya sahip olan toprakta suyun buharlaşarak taşınımı sıcaklık değişimi sonucunda oluşmaktadır. Toprak profilindeki su buharı geceleri alt katmanlardan daha soğuk olan üst katmanlara doğru hareket etmektedir. Toprak nemi ve sıcaklık değişimleri arasındaki nicel bağımlılık, topraklar arasında farklılık göstermektedir. Bazı topraklarda  $1^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  sıcaklık farklılığı, toprak neminde  $0.1244 \text{ g}/\text{cm}^3$  değişim oluşturmaktadır (Gerayzade,1989). Sıcaklık ve rutubet arasındaki bu karşılıklı ilişki göz önüne alınarak, farklı tekstürdeki toprakların, bazı gıda maddeleri ve çeşitli malzemelerin, ısı ve nem taşınım katsayıları belirlenebilmektedir (Babyev, 1956; Gamayunov, 1960).

Toprak sıcaklığının zamana ve bulunduğu yere göre değerlendirilmesi, toprakta ısı taşınım modelinin uygulanması, genel olarak toprakların ısı absorplama katsayılarına ve termo-fiziksel özelliklerine bağlı olmaktadır. Bu nedenle, toprakların termo-fiziksel özelliklerine ait parametrelerin incelenmesi ve toprak katmanlarındaki sıcaklık dağılımının tahmini için ısısal yayınım katsayısının kullanılması, toprakta sıcaklık dengesinin ifadesinde önemlidir.

## 2.TOPRAKTA ISI TAŞINIMI

Yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu sonucunda toprak-bitki-atmosfer ekosisteminde oluşan enerjinin dönüşümü ve ısı dengesinin sağlanması büyük ölçüde toprakta ısı taşınımının etkisi altındadır. Topraklarda ısı taşınımı kütle ve enerjinin korunumu kuralına bağlı olup, ısının bir kısmı toprakta fiziksel, kimyasal, biyolojik süreçlerinin oluşumuna, bir kısmı ise bitki ve kök sisteminin gelişimine harcanmaktadır. Toprakların ısı dengesi aşağıda verilen eşitlikteki gibi ifade edilebilir.

$$R + LE + P + I = 0 \quad (1)$$

Burada;

$R$  :radyasyon dengesi (kal/cm<sup>2</sup>gün),

$L$  :birim hacim suyun buharlaşması için harcanan gizli ısı miktarı ( $\approx 600 \text{ kal}/\text{cm}^3$ ),

$E$  :buharlaşma hızı (cm/gün veya cm/yıl),

$LE$  :buharlaşmaya harcanan gizli ısı (kal/cm<sup>2</sup>gün),

$P$  :toprak yüzeyine yakın hava katmanının ısınmasına harcanan kondaktif ısı (kal/cm<sup>2</sup>gün),

$I$  :toprak yüzeyine veya alt katmanlarına yönelen ısı akımı (kal/cm<sup>2</sup>gün)

Farklı topraklar için toplam radyasyon dengesinin (R) sadece % 8–30'luk kısmı toprakların ısı akımı içerisinde yer almaktadır (Gerayzade,1989). Radyasyon dengesi, atmosferden gelen uzun dalgalı ışınlar ( $R_i$ ) ile

toprak yüzeyinden atmosfere yansıyan uzun dalgalı radyasyon ( $R_e$ ) arasındaki fark olarak

$$R = R_i - R_e \text{ şeklinde ifade edilmektedir.}$$

Bitki örtüsü radyasyon dengesini, dolayısıyla topraktaki ısı akımını azaltmaktadır. Yarı step iklim bölgelerindeki doğal bitki örtüsü altında oluşmuş olan gri çöl (Sierozem) topraklarında radyasyonunun % 17.39' u toprakların ısı akımı içerisinde yer almaktadır (Gerayzade,1989).

Genelde herhangi bir ortamda ısı akımının oluşumu için gerekli koşul, ortamda bir sıcaklık eğiminin bulunmasıdır. Bu nedenle, radyasyon dengesi toprağın farklı sıcaklığa sahip tabakaları ve alt katmanları arasında ısı akımı oluşturmaktadır. Herhangi bir cisim veya toprağın yüzeyinden ( $dF$ ) belirli bir zaman aralığında ( $d\tau$ ) geçen ısı akımı ( $dQ$ ) sıcaklık eğimi ( $\partial T/\partial x$ ) ile ilişkili olup aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$dQ = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} dF d\tau \quad (2)$$

Burada:

$T$  :Sıcaklık, (Kelvin veya  $^{\circ}\text{C}$ ),

$x$  :Mesafe veya toprak derinliği (m),

$\lambda$  :katsayı veya cismin fiziki parametresi (Joule/m<sup>2</sup>sn veya watt /mK).

Denklemden ( $\lambda$ ) ısı iletkenlik katsayısı olarak isimlendirilmektedir. Bu katsayı cismin veya toprağın ısı geçirme özelliğini ifade etmektedir. Birim alandan birim zamanda geçen ısı miktarı ( $q$ , watt/m<sup>2</sup>) ise ısı akımının yoğunluğunu ifade etmektedir:

$$q = \frac{dQ}{dF d\tau} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

Isı akımının yoğunluğu ( $q$ ) ve sıcaklık eğimi ( $\partial T/\partial x$ ) arasında negatif ilişki vardır. Denklemdenki negatif ilişki maddede veya toprakta ısının, sıcaklığın yüksek olduğu kısımdan düşük olduğu kısma doğru hareketini ifade etmektedir (İsaçenko ve ark., 1981; Kang ve ark., 2000; Gülser ve Ekberli, 2002).

Toprakta ısı akımı, katmanların sıcaklık farkına bağlı olarak değişmektedir. Toprakta organik maddenin parçalanması, kuru toprağın nemlenmesi, su buharının yoğunlaşması v.b. gibi faktörler toprak ısı dengesi içerisindeki ısı kayıplarının bir kısmını oluşturmaktadır. Genel olarak, ısı akımının azalması daha çok buharlaşma ile ilgilidir. Bu faktörler göz önüne alınca ısı taşınımını nicel olarak ifade eden sıcaklığın, derinlik ve zamana göre değişimi aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$\rho C \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \pm S(x,t) \quad (4)$$

Burada:

$\rho$  :toprağın özgül ağırlığı ( $\text{g/cm}^3$ ),

$C$  :toprağın özgül ısı kapasitesi (Joule/kgK),

$S(x,t)$  :ilave ısı kaynağı ve kaybolan ısı

akımını göstermekte olup, mesafe ve zamanın bir fonksiyonudur.

Termo-fiziksel parametrelerin, toprakların homojen olması durumunda sabit değer aldıkları düşünülürse, eşitlik (4)'deki  $S(x,t)$  değerinin sıfıra yaklaştığı yani ihmal edilebilecek derecede çok küçük bir değere ulaştığı düşünülürse, yukarıdaki eşitlik şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho C} \left( \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \quad (5)$$

Burada;  $\lambda/\rho C$  ısısal yayılım veya toprağın sıcaklık iletkenlik katsayısı,  $a^2$  ( $\text{m}^2/\text{sn}$ ) olarak alınabilir. Bu parametre toprağın ısı iletkenliği ( $\lambda$ ) ile doğru, hacimsel ısı kapasitesi ( $\rho C$ ) ile ters orantılıdır. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin toprak tarafından tutulması ve toprakta ısı akımının oluşumunda temel faktör olan toprağın ısı absorplama katsayısı, deneme veya analitik yöntemlerle belirlenebilen toprağın ısı kapasitesi, ısı iletkenliği, sıcaklık iletkenliği veya ısısal yayılım katsayıları gibi termo-fiziksel özellikler toprak sıcaklığının derinlik ve zamana göre nicel olarak değerlendirilmesinde çok önemlidir.

### 3. TOPRAKLARIN TERMO FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. Toprağın Isı Absorplaması ve Albedo Katsayısı

Güneş enerjisinin toprak tarafından tutulması, toprağın ısı absorplama özelliğini belirtir. Toprak yüzeyinden yansıyan kısa dalgalı güneş radyasyonun ( $R_s$ ), yeryüzüne ulaşabilen toplam radyasyona ( $R_f$ ) oranı, yansımaya katsayısı yani  $\alpha$  (Albedo) katsayısı ile değerlendirilir ( $\alpha = (R_s / R_f) 100, \%$ ). Toprağın ısı absorplama yeteneği Albedo katsayısı ile ters orantılıdır. Albedo katsayısının artması toprağın ısı absorplama yeteneğinin azaldığını ifade eder. Albedo katsayısı güneşten olan mesafeye, güneş ışınlarının geliş ve yansımaya açısına, toprağın rengine, organik madde miktarına, rutubete, strükture, toprak yüzeyinin yatayla yaptığı açıya ve bitki örtüsüne bağlı olup, ekosistemde oluşan

süreçlere çok önemli etki yapmaktadır (Nouvellon ve ark., 2000; Burba ve Verma, 2001; Mika ve ark., 2001). Bitki örtüsünce fakir açık renkli topraklarda yansımaya katsayısı ( $\alpha$ ) yüksek, rutubetli, organik maddece zengin ve koyu renkli topraklarda ise daha düşük olmaktadır (Çizelge 1).

Toprak yüzeyinde yansımaya katsayısı günlük olarak kuvvetli bir değişime sahip olmaktadır. Sabah ve akşam saatlerinde yansımaya katsayısı önemli derecede azalmaktadır (Mamedov, 1989). Genel olarak güneşten olan mesafeye bağlı olarak, ışının geliş açısının farklı olması, kısa dalgalı radyasyon tayfının değişimi, yansımaya katsayısının günlük değerlerine önemli etki yapmaktadır (Çizelge 2). Toprakların yansımaya katsayısının ( $\alpha$ ) azaltılması, dolayısıyla topraklarda ısı absorplamasının iyileştirilmesi için topraklarda optimum su dengesinin sağlanması, farklı organik atıkların uygulanması, kış döneminde arazi yüzeyinin boş bırakılmaması gibi önlemlerin alınması gerekmektedir.

#### 3.2. Isı Kapasitesi

Bitkilerin ekim zamanının belirlenmesi ve iyi bir ürün elde edilmesi toprakların ısı kapasitesi ile yakından ilişkilidir. Toprağın birim kütlede veya hacminde birim sıcaklık değişiminde oluşan ısı miktarı; toprağın özgül ısı ( $C_m$ , Joule/kgK veya kal/g °C) ve hacimsel ısı kapasitesi ( $C_v$ , Joule/m<sup>3</sup>K veya kal/cm<sup>3</sup> °C) ile ilişkili olup bu parametreler arasında  $C_v = C_m \cdot \rho$  şeklinde bir bağıntı vardır. Isı kapasitesi kalorimetrik yöntemle belirlenmektedir. Genel olarak, ısı kapasitesi toprağın mineralojik ve organik bileşimine, hacim ağırlığına ve rutubetine bağlı olmaktadır (Çizelge 3). Hacimsel ısı kapasitesi toprak rutubetinin ( $\omega$ ) artması ile lineer olarak artmakta olup (Chudnovskii, 1976) bu artış matematiksel olarak  $C_v = (C_m + \omega/100)\rho$  şeklinde açıklanabilir. Bu nedenle, kuru toprakla karşılaştırıldığında, rutubetli toprağı belli bir sıcaklık değerine kadar ısıtmak için daha fazla enerji gerekmektedir.

Çizelge 1. Farklı topraklarda nem durumuna göre yansımaya ( $\alpha$ ) katsayıları (Chudnovskii, 1976)

Farklı Toprak Grupları	$\alpha, \%$	
	Kuru	Nemli
Koyu renkli topraklar (Çernozemler)	14	8
Açık renkli topraklar (Gri çöl, Vertic Cambisols)	25-30	10-12
Kil	23	16
Beyaz ve sarı kum	34-40	-

Çizelge 2. Farklı toprak ve bitki örtüsünde yansımaya katsayısının ( $\alpha$ ) günlük değişimi (Mamedov, 1989)

Zaman (saat)	Koyu renkli topraklar (Çernozem)	Kestane renkli toprak (Luvic Cambisols)		Çayır-gri-nemli (VerticCambisols, Luvic Cambisols)		Gri-çayır-kurak (GleyicXerosols)	
	Çıplak arazi	Bağ	Buğday	Meyve bahçesi	Çıplak arazi	Meyve Bahçesi	Çıplak arazi
7 <sup>30</sup>	0.18	0.24	0.23	0.22	0.27	0.24	0.27
9 <sup>30</sup>	0.15	0.20	0.20	0.18	0.26	0.22	0.24
11 <sup>30</sup>	0.13	0.14	0.12	0.18	0.26	0.17	0.22
13 <sup>30</sup>	0.13	0.14	0.11	0.16	0.23	0.10	0.21
15 <sup>30</sup>	0.16	0.20	0.14	0.18	0.25	0.15	0.24
17 <sup>30</sup>	0.18	0.25	0.17	0.20	0.27	0.20	0.26
19 <sup>30</sup>	0.38	0.33	0.27	0.27	0.34	0.24	0.29

Çizelge 3. Toprağın temel bileşenlerinin termo-fiziksel özellikleri (de Vries, 1963 )

Toprak Bileşenleri	Özgül ağırlık ( $\rho$ ) ton/m <sup>3</sup>	Özgül ısı kapasitesi ( $C_m$ ) kJoule/kgK	Hacimsel ısı kapasitesi ( $C_v$ ) kJoule/m <sup>3</sup> K	Isı iletkenliği ( $\lambda$ ) watt/mK	Isısal yayınım ( $a^2$ ) m <sup>2</sup> /sn
Kuvars	2.65	0.74	1.96. 10 <sup>3</sup>	8.8	4.5 10 <sup>-6</sup>
Toprak mineral maddesi	2.65	0.80	2.12. 10 <sup>3</sup>	2.9	1.4 10 <sup>-6</sup>
Toprak organik maddesi	1.1	2.50	2.75. 10 <sup>3</sup>	0.25	0.09 10 <sup>-6</sup>
Su	1.0	4.20	4.20. 10 <sup>3</sup>	0.6	0.14 10 <sup>-6</sup>
Hava (20°C)	0.0012	1.00	1.20	0.025	21.00 10 <sup>-6</sup>

Hacimsel ısı kapasitesi, toprak bileşenlerinin hacimsel oranları kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile değerlendirilebilir (de Vries, 1975).

$$C_v = \sum f_{s_i} C_{s_i} + f_{\omega} C_{\omega} + f_a C_a \quad (6)$$

Burada;

$f$  : toprak bileşenlerinin hacimsel oranları,

$s$  : toprak katı fazı,

$\omega$  : toprağın su fazı,

$a$  : toprağın gaz fazını ifade etmektedir.

Topraktaki organik ve mineral fazlarına ait ısı kapasitelerinin toplamı ( $\sum f_{s_i} C_{s_i}$ ), toprağın katı

fazına ait ısı kapasitesini oluşturmaktadır. Toprağın gaz fazına ait ısı kapasitesi diğerleri yanında çok azdır ( $f_a C_a \approx 0$ ). Toprakların ısı kapasitesinin değişimi, nem miktarı ve toprağın mineralojik özelliği ile yakından ilişkilidir. Killi topraklarda organik madde miktarının yükseltilmesi, optimum infiltrasyonun sağlanması ve buharlaşmanın azaltılması ısı kapasitesini istenilen seviyeye getirmektedir.

### 3.3. Isı İletkenlik Katsayısı ( $\lambda$ )

Isı iletkenlik katsayısı toprağın ısı geçirme özelliği olup, ısının bir katmanda diğer katmana geçme hızını ifade etmektedir. Isı iletkenliği birim sıcaklık eğimi altında birim alandan geçen ısı miktarı (watt/m.K) olarak tanımlanabilir.

Toprak bileşenleri çok farklı ısı iletkenlik değerlerine sahip olabilirler (Çizelge 3). Toprağın ortalama ısı iletkenliği onun mineralojik ve tekstürel özelliklerine, organik madde ve nem miktarına, havalanmasına bağlı olarak değişmektedir.

Isı taşınım teorisine göre, kinetik olarak normal şartlar altında gazların (toprak havasının) ısı iletkenliği, gaz moleküllerinin düzensiz hareketi ve çarpışması sonucunda oluşan moleküler harekete ait enerjinin taşınımı ile değerlendirilmektedir. Bu nedenle, toprak havasının ısı iletkenliği aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\lambda = (\varpi \ell C_{vg} \rho_g) / 3 \quad (7)$$

Burada;

$\varpi$  : gaz moleküllerinin ortalama yer değişme hızı (m/sn),

$\ell$  : başlangıçta moleküller arası ortalama mesafe (m),

$C_{vg}$  : sabit hacimde gazın ısı kapasitesi (kJoule/m<sup>3</sup>K),

$\rho_g$  : özgül ağırlık (ton/m<sup>3</sup>).

Gazlar üzerindeki basıncın artması özgül ağırlığı ( $\rho_g$ ) artırmakta ve  $\ell$  mesafesi azalacağından,  $\ell \rho_g$  değeri sabite ulaşacaktır.

Basıncın değişimine bağlı olarak da ısı iletkenliği farklı değerler alacaktır. Gaz moleküllerinin ortalama yer değişme hızı  $\varpi = \sqrt{3R_{\mu}T/\mu}$  ( $R_{\mu} = 8314.5$  Joule/kmolK, üniversal gaz sabitesi;  $\mu$  -moleküler kütle;  $T$  -sıcaklık K) şeklinde olduğundan sıcaklığın yükselmesi ile gazların ısı iletkenlik katsayısı da yükselmektedir. Genel olarak gazların ısı iletkenliği 0.006 – 0.6 watt/mK aralığında değişmektedir (İsaçenko ve ark., 1981). Toprak havası farklı gazlardan oluştuğu için, ısı iletkenliğinin deneysel yöntemler ile belirlenmesi gerekmektedir.

Toprakta nemin az, havanın fazla olması ısı iletkenliğini azaltmaktadır. Bu nedenle toprak yüzeyinin kuruması ısı iletkenliğinin, dolayısıyla aşağı katmanlara olan ısı akımının azalmasına sebep olmaktadır. Toprakta su ve hava oranı sürekli olarak değiştiği için, ısı iletkenliği de zamana bağlı olarak değişmektedir. Toprağın sıvı fazındaki ısı taşınımı, düzgün bir fazda olmayan esnek dalgaların enerji taşınması teorisine benzemektedir. Genel olarak sıvıların ısı iletkenliği ise 0.07-0.7 Watt/mK aralığında değişmektedir (İsaçenko ve ark., 1981). Bazı araştırmacılar tarafından ısı iletkenliği ve nem arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Sıcaklık dengesinin modellenmesinde bu ilişkilerden yararlanılabilir. Bu amaçla kullanılabilecek ilişkilerden biri aşağıda verilmiştir (Kurtener ve Chudnovskii, 1979).

$$\lambda(\omega) = C_v(\omega)[k_1(\omega - k_4)^2 + k_2\rho_s + k_3] \quad (8)$$

Burada:

$\lambda(\omega)$  : toprağın ısı iletkenliği (watt/mK),

$C_v(\omega)$  : hacimsel ısı kapasitesi (kJoule/m<sup>3</sup>K),

$\rho_s(\omega)$  : özgül ağırlık (ton/m<sup>3</sup>),

$\omega$  : toprağın rutubeti (%),

$k_1, k_2, k_3, k_4$  denkleme ait katsayılar olup

bazı topraklar için alabileceği değerler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Toprağın ısı iletkenliği ve nem içeriği arasındaki ilişkiye ait katsayılar (Kurtener ve Chudnovskii, 1979)

Toprak Grupları	$k_1 \cdot 10^4$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
Çernozem	-130	3.1	1.21	0.20
Kestane renkli topr. (Luvic Cambisols)	-170	2.2	1.90	0.18
Gri toprak (Vertic Cambisols)	-62	2.7	0.20	0.18
Gley toprak (Umbric Leptisols)	-200	3.1	1.40	0.20

Toprağın ısı kapasitesi ile karşılaştırdığında, ısı iletkenliği belli bir sınıra kadar nem değişimi ile daha fazla değişmektedir. Tarla koşullarındaki nem aralığında, hacimsel ısı kapasitesi nem değişimi ile 3-4 kat değişebilirken, ısı iletkenliği ise 100 katı veya daha fazla değişebilmektedir (Voronin, 1986; Bristow ve ark., 2001).

Isı iletkenliğinin oluşumunda toprak taneciklerinin teması (kondüksiyon) önemli bir faktördür. Bu nedenle, ısı kapasitesinden farklı olarak, ısı iletkenliği ancak toprak fazlarının hacimsel oranına değil, aynı zamanda toprak taneciklerinin yapısına, çap sınırlarına, yerleşimine ve strüktürüne de bağlıdır. Toprak gibi çok fazlı sistemlerde ısı taşınımı çeşitli olaylarla meydana gelmektedir. Kondüksiyon veya özel ısı iletkenliği bu olaylardan önemlisi olup, bu yolla ısı taşınımı toprak taneciklerinin teması sonucunda oluşmaktadır. Toprağın sıvı ve gaz bileşimindeki moleküllerin yer değişimine bağlı olan konveksiyon olayları da ısı iletkenliğinin oluşumunda oldukça önemlidir.

Genel olarak toprakta buhar ve sıvı şeklinde olan rutubet akımının oluşturduğu ısı taşınımı toprağın termo-fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Profil boyunca aşağı genetik katmanların özelliği, yapısı, bileşenlerinin oranı, nemi farklı olduğu için, ısı iletkenliği ve termo-fiziksel özellikler, derinliğin bir fonksiyonu olmaktadır. Ayrıca, ısı iletkenliği zamana göre de değişmektedir.

### 3.4. Isısal Yayınım (Difüzivite, a<sup>2</sup>)

Toprakların ısısal yayınımları (a<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>/sn) ısı iletkenliği ile doğrusal ve hacimsel ısı kapasitesi ile ters orantılı ( $a^2 = \lambda / C_v$ ), ve  $\lambda$  ile  $C_v$ 'ye etki yapan faktörlere bağlı olmakla beraber kendine özgü bir özelliğe sahiptir.

Topraktaki nemin değişimine uygun olarak ısısal yayınımları da maksimum kuralı ile değişmekte ve  $a^2 = a(\omega - \omega_{mak.})^b + c$ , şeklinde ifade edilmektedir (Chudnovskii, 1976). Bu eşitlikte a, b ve c deneysel katsayılar olup, çeşitli topraklar için farklılık göstermektedir. Isısal yayınımları toprağın pulluk tabakası dışındaki diğer horizonlarda nem içeriği tarla kapasitesindeyken maksimum değerler almakta, halbuki doygunluk noktasında ise daha düşük değerlere ulaşmaktadır (Kurtener, Chudnovskii, 1979; Voronin, 1986). Toprak nem içeriğinin düşmesi ile ısısal yayınımları da azalmaktadır. Farklı nem içeriğindeki alkali Çernozem toprağa ait bazı termo-fiziksel özellikler ve ısısal yayınımları katsayılarının horizonlara göre değişimi Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Farklı nem değerlerinde alkali Çernozemin genetik horizonlarına ait bazı termo-fiziksel özellikler ( $C_v$ , kJoule/m<sup>3</sup>K;  $\lambda$ , watt/mK;  $a^2$ , m<sup>2</sup>/sn; Voronin,1986).

Termo-fiziksel özellikler	Fırın kuru	Maksimal higroskopik su	Solma noktası	Kapillar su	Tarla kapasitesi	Doyma noktası
A pulluk horizonu						
$C_v \cdot 10^3$	0.904	1.210	1.343	1.741	2.083	3.420
$\lambda$	0.352	0.585	0.714	1.259	1.294	1.306
$a^2 \cdot 10^{-6}$	0.390	0.484	0.532	0.723	0.621	0.382
AB horizonu						
$C_v \cdot 10^3$	1.120	1.383	1.460	1.831	2.146	3.878
$\lambda$	0.421	0.571	0.640	1.044	1.306	1.299
$a^2 \cdot 10^{-6}$	0.376	0.413	0.438	0.570	0.609	0.335
B horizonu						
$C_v \cdot 10^3$	1.300	1.552	1.627	1.983	2.252	4.281
$\lambda$	0.473	0.582	0.664	1.055	1.331	1.336
$a^2 \cdot 10^{-6}$	0.364	0.375	0.408	0.532	0.591	0.312
C horizonu						
$C_v \cdot 10^3$	1.582	1.834	1.928	2.326	2.655	4.810
$\lambda$	0.500	0.708	0.812	1.233	1.423	1.438
$a^2 \cdot 10^{-6}$	0.316	0.386	0.421	0.530	0.536	0.299

Toprak nemin içeriğinin artması ile ısı iletkenliği azalan artışa göre, ısı kapasitesi ise doğrusal olarak artmaktadır. Bu durumda, başlangıçta ısı iletkenliğindeki artışı ısı kapasitesine göre daha hızlıdır. Benzer şekilde ısısal yayınımda ısı iletkenliği gibi başlangıçta daha hızlı bir artış göstermektedir. Toprağın nem içeriği tarla kapasitesine yaklaştığında ısı iletkenliğindeki artışta çok azdır (Voronin, 1986).

Toprak profilindeki sıcaklık değişimi ısısal yayının değerini etkilemektedir. Isısal yayını (5) numaralı ısı iletkenlik denkleminin çözümü ile  $a^2 = W x^2 / [2 \ln^2 (A(x) / A)]$  olarak belirlenmiştir (Nerpin ve Chudnovskii, 1984; Gülser ve Ekberli, 2002). Burada,  $W = 2\pi / P$ , ( $P$  periyot,sn),  $A$  ve  $A(x)$  sırasıyla toprak yüzeyindeki ve toprağın  $x$  derinliğindeki maksimum veya minimum sıcaklığın ortalama sıcaklıktan farkını ifade eden amplitüt, (°C) değerleridir. Toprakların ısısal yayını, bitki kök bölgesinde ve toprak alt katmanlarında ısı dengesine ve dolayısıyla toprak oluşum enerjisine etki yapması bakımından önemlidir.

#### 4.SONUÇ

Toprakta sıcaklık dengesinin modellenmesi, topraktaki ısı taşınımını ifade eden ısı iletkenliği denkleminin çözümünü, toprak yüzeyinde ve katmanlarındaki sıcaklığı belirlenmesi ve tahmin

edilmesini, toprakların termo-fiziksel özellikleri ile onlara etki yapan faktörlerin bir arada değerlendirilmesini gerektirir. Bu nedenle toprakların termo-fiziksel özelliklerinin oluşumu ve değişimlerine etki yapan faktörlerin ve ısısal yayının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Toprak sıcaklığı, toprakta su, tuz, hava ve besin elementi dengelerinin oluşumunda büyük öneme sahiptir ve toprakta ısı akımını oluşturan temel bir faktördür. Toprakta ısı akımının değişimi ise toprağın termo-fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu özelliklerin dikkate alınması, toprak sıcaklığının düzenlenmesi, ekim ve sulama zamanının belirlenmesi ve dolayısıyla verimliliğin artırılması için gereklidir. Toprakta optimum sıcaklık dengesinin sağlanmasında termo-fiziksel özelliklerin bilinmesi gerekir. Toprakların termo-fiziksel özelliklerinin yanı sıra toprakların alt katmanlarındaki sıcaklık dengesinin belirlenmesi için ısısal yayını katsayısına ihtiyaç duyulur. Toprak yüzeyinde ve katmanlardaki amplitüt değişimine uygun olarak, her katmandaki ısısal yayını katsayısının hesaplanması ise mümkündür.

#### 5.KAYNAKLAR

Babyev N. N., 1956. Islak materyallerde ısı ve nemin taşınım parametrelerinin birlikte belirlenmesi. Trudı Mosk. texnol. in-ta pişevoy prom-ti. vıp.6, s.48-57 (Rusça).

- Bristow K.L., Kluitenberg G.J., Goding C.J., Fitzgerald T. S., 2001. A small multi-needle probe for measuring soil thermal properties, water content and electrical conductivity, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 31, Issue 3, May, pp. 265-280
- Burba G.G., Verma S.B., 2001. Prairie growth, PAR albedo and seasonal distribution of energy fluxes, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.107, Issue 3, 2 April, pp. 227-240
- Chudnovskii A.F., 1976. *Toprakların Isı Fiziği*. Moskova, Nauka, 353s. (Rusça).
- de Vries D.A., 1963. Thermal properties of soils. In *Physics of plant environment*, ed. W.R. van Wijk. North-Holland, Amsterdam, pp.210-235.
- de Vries D.A., 1975. Heat transfer in soils. In "Heat and Mass Transfer in the Biosphere." (D.A. de Vries and N.H. Afgan, eds.), pp.5-28. Scripta Book Co., Washington, D.C.
- Gamayunov N.N., 1960. Prob yöntemi ile torfta ısı ve nemin taşınımı süreçlerinin incelenmesi. *Trudi Kalinin. torf. in-ta. vıp.11*, 203-217. (Rusça).
- Gerayzade A.P., 1982. *Toprak sistemlerinde sıcaklık ve nem taşınımı*. Baku, Elm, 157s. (Rusça).
- Gerayzade A.P., 1989. *Toprak bitki atmosfer sisteminde enerji döngüsü*. Baku, Elm, 158s. (Rusça).
- Greçişev S.E., Çistotinov L.V., Şur Yu.L., 1984. *Kriogen fiziksel jeolojik süreçlerin modellenmesinin temelleri*. Moskova, Nauka, 230s. (Rusça).
- Gülser C., Ekberli İ., 2002. Toprak sıcaklığının profil boyunca değişimi. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(3):43-47
- İsaçenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S., 1981. *Isı iletimi*. Moskova, Energoizdat, 417s.(s.8-24). (Rusça).
- Kang S., Kim S., Oh S., Lee D., 2000. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover and air temperature, *Forest Ecology and Management*, Vol.136, Issues 1-3, 1 October, pp.173-184.
- Kurtener D.A., Chudnovskii A.F., 1979. *Toprakların ısı düzenlemesinde agrometeorolojik temeller* Leningrad, Gidrometeoizdat, 231s. (Rusça).
- Mamedov R.G., 1989. *Azərbaycan SSR topraklarının agrofiziksel özellikləri*. Bakü, Elm, 244s.(s.172-192), (Rusça).
- Mika J., Horváth Sz, Makra L., 2001. Impact of documented land use changes on the surface albedo and evapotranspiration in a plain watershed, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Vol. 26, Issues 7-8, pp. 601-606
- Nerpin S.V., Chudnovskii A.F., 1984. *Heat and mass transfer in the plant-soil-air system*. Translated from Russian. Press Pvt.Ltd., New Delhi, India, 355p.
- Nouvellon Y., Begue A., Moran M. S., Lo Seen D., Rambal S., Luquet D., Chehbouni G., Inoue Y., 2000. PAR extinction in shortgrass ecosystems: effects of clumping, sky conditions and soil albedo, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol.105, Issues 1-3, 20 November, pp. 21-41
- Ross Yu.K., 1975. *Bitki örtülü toprakların radyasyon rejimi ve dinamiği*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 342s. (Rusça).
- Volobuyev V.R., 1974. *Toprak oluşum enerjisine giriş*. Moskova, Nauka, 128s. (Rusça).
- Voronin A.D., 1986. *Toprak fizığının esasları*. İzdatelstvo Moskovskogo Universiteta, 246s. (Rusça).