

TARIMDA KULLANILAN BAZI KİMYASALLARIN YERALTI SULARINI KİRLETME POTANSİYELLERİNİN BİR MODELLE BELİRLENMESİ

Hüseyin KABAKÇI¹

ÖZET : Modern tarımın vazgeçilmez unsurlarından olan kimyasalların kullanımını özellikle son 40 yılda dünyada ve Türkiye'de giderek artmaktadır. Ancak üretimde artış sağlayan bu kimyasallar yanlış kullanımları sonucunda gerek çevre gerekse insan sağlığına olumsuz etkiye bulunmaktadır. Kimyasallar zararlı etkilerini yeraltı ya da yerüstü sularına bulaşarak göstermektedirler. Kimyasalın yeraltı sularına bulaşma tehlikesini ise kimyasalın kendi özellikleri yanında toprak, iklim ve tarımsal uygulamalar gibi unsurlar belirlemektedir. Bu çalışmada tarımda kullanılan kimyasalların yeraltı sularına bulaşma mekanizmaları incelenmiş ve bu süreç model yaklaşımı içerisinde verilmiştir. Tanıtılan model elde mevcut kimyasallar arasından seçim yapılmasında ya da kullanılan bir kimyasalın, uygulanan tarım tekniği ve çevre koşulları altında yeraltı sularına bulaşma potansiyeli olup olmadığını belirlemede teknik kullanıcılara yardımcı olacağı ümit edilmektedir.

DETERMINATION OF CONTAMINATION POTENTIAL OF UNDERGROUND WATER BY SOME AGRICULTURAL CHEMICALS

SUMMARY : *Chemical usage in agricultural production has been increased rapidly especially in last 40 years in the world as well as in Turkey. Although, chemical application has resulted in production increase, environment and human health are under the risk in the cases of wrong usage. Ground and underground contamination are major forms of negative impacts of chemicals through infiltration and runoff. Chemicals characteristics itself, soil and climate characteristics and farming practices are the factors to determine underground water*

1. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enst.Md.-ANKARA

contamination. In this study, contamination process is investigated and an contamination model is given. This model hopefully will helpful to select least hazardous chemical among other alternatives and/or to determine potential risk of contamination under given conditions and farming practices to chemical users.

GİRİŞ

Günümüz modern tarımında bilindiği gibi kimyasal kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır. Kimyasal gübrelerin yanı sıra yabancıot, hastalık ve zararlılarla mücadele için içeriğinde organik ve inorganik maddeler bulunan kimyasallar, tarımda artık vazgeçilemez unsurlar olmuşlardır. Sözü edilen bu maddelerin bitkisel üretimde önemli artışlar sağlamalarına karşılık, son yıllarda özellikle insan sağlığına etkileri sorgulanır olmuştur. Bu kimyasalların insan sağlığına zararlı etkileri özellikle yeraltı sularına sızmaları ile ya da yüzey akışına geçerek yerüstü su kaynaklarına karışmaları ile gerçekleşmektedir.

Ancak son yıllarda kimya endüstrisindeki gelişmeler sonucu üretilen yeni materyaller hem çevre hem de insan sağlığına daha az zarar verir olmuşlardır. Yine de tarımcılar, kullanacakları kimyasal seçenekleri içerisinde çalıştığı, bölge şartlarında en az zarar veren kimyasalın seçiminde dikkatli ve bilgili olmalıdır. Bu çalışmanın amacı; herbisit ya da pestisit kullanıcıların bunları kullanmadan önce onların yeraltı sularını kirletme potansiyellerini belirlemeleri konusunda gerekli eşitlikleri ve kuramları vermek ve bu konuda dikkatlerini çekmektir. Bu çalışmanın yararlı olabilmesi için mümkün olduğu kadar sade bir dil ve denklemler zinciri verilerek okuyucunun ilgisinin canlı tutulmasına çalışılmıştır. Detaylı bilgilerin temin edilebileceği kaynaklar ve örnek çözümler çalışmanın son kısmında bulunabilir.

YÖNTEM

Kimyasalların Taşınması İle İlgili Tahmin Yapacak Modelde Gerekli Parametreler

1. Toprak Özellikleri

- Hacim ağırlığı (D_b), g/cm^3
- Volumetrik su içeriği (V_m), m/m veya cm/cm
- Toprak organik karbon içeriği (f_{oc}), %

2. Kimyasalların adsorbsiyonunu ve parçalanmasını etkileyen parametreler

2.1. Organik karbon ayrışma katsayısı (K_{oc})

Bu katsayı, kimyasalın birim toprak kütesindeki organik karbon tarafından adsorbe edilme ölçüsüdür ve tutunma katsayısı (R) ve adsorbsiyon katsayısı (K_d) ile ilişkilidir (MULLA, 1989).

$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc} \quad (1)$$

Tutunma katsayısı (R), toprak profilinde alınan yol (derinlik) içerisinde sabit bir volumetrik su içeriği, hacim ağırlığı, difüzyon ve ortalama su hızında;

$$R = 1 + (D_b \cdot K_d) / V_m$$
$$R = 1 + (D_b \cdot K_{oc} \cdot f_{oc}) / V_m \text{ dir.} \quad (2)$$

2.2. Parçalanma yarı ömrü ($T_{1/2}$)

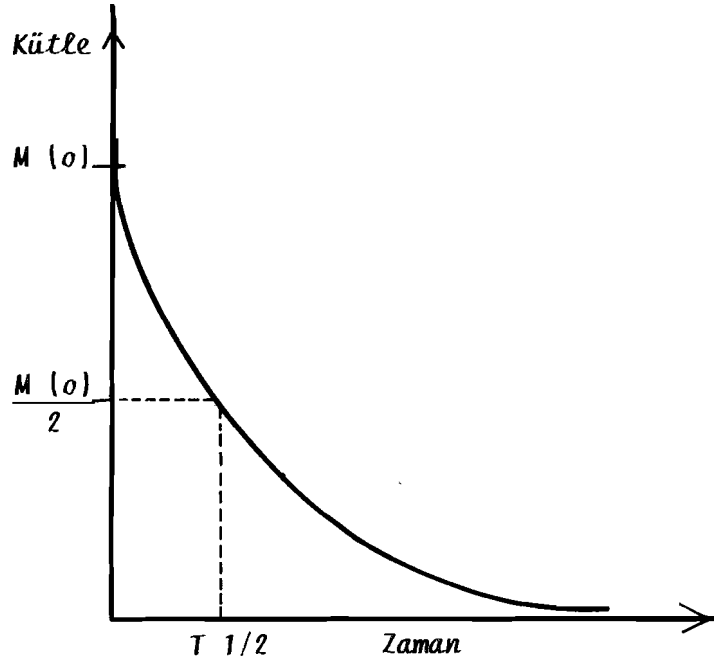
Bu süre kimyasalın bileşenlerine ayrışmalarında geçirdiği kimyasal yada biyo-kimyasal süreçtir. En basit parçalanma sürecini, birinci derece exponansiyel parçalanma modeli ile açıklamak mümkündür. Ortamda mevcut kimyasal kütle zaman içerisindeki değişimi şekil 1'de verilmiştir.

Bu ilişkide; $M(0)$ başlangıç kütle, $M(t)$ kalan kütle ve DC birinci dereceden parçalanma sabitesini ve t zamanı göstermektedir. Kalan kütle ile diğer parametreler arasındaki ilişki

$$M(t) = M(0) \exp(-DC \cdot t) \quad (3)$$

olmaktadır. $M(t) = 1/2 m(0)$ olduğunda 3 nolu denklem;

$$M(t)/M(0) = 1/2 = \exp(-DC \cdot T_{1/2}) \quad (4)$$



Şekil 1. Kimyasal kütle miktarının zaman içerisinde değişimi

ve $DC = 0.693/T_{1/2}$ (5)
şeklinde çözümlenmektedir.

Son eşitliğin çözülebilmesi için kimyasalın ya parçalanma sabitesinin (DC) yada yarılanma ömrünün ($T_{1/2}$) bilinmesi gereklidir.

Yukarda verilen organik karbon ayrışma katsayısı (K_{oc}) ve parçalanma yarı ömrü ($T_{1/2}$) kimyasalların yeraltı suyuna bulaşma potansiyellerinin belirlenmesinde kullanılan en önemli iki parametredir. Birincisi kimyasalın hareketliliğini belirleyen bir indeks olarak kullanılırken ikincisi kimyasalın kalıcılığını gösteren bir indeks olarak kullanılmaktadır.

Kimyasallar hareketlilik kabiliyetlerine göre üç sınıfta toplanmaktadır.

1. Çok hareketli olanlar ($K_{oc} < 30$); Bu gruptaki kimyasallar suda kolayca çözünmekte ve toprak partikülleri tarafından adsorbe edilmemektedirler. Hareketliliklerini azaltan tek unsur topraktaki

organik karbon (organik madde) miktarındaki artıştır.

2. Orta hareketliler ($30 < K_{oc} < 500$): Bu gruptaki kimyasallar daha fazla hidrofobik özellik göstermeleri nedeni ile suda daha az çözünürler.

3. Hareketsizler ($K_{oc} > 500$): Bu gruptaki kimyasallar suda çözünmedikleri gibi kuvvetli bir şekilde adsorbe edilirler.

Çizelge 1'de bazı kimyasalların hareketlilik yönünden sınıflandırılması verilmiştir (ANONYMOUS, 1989).

Çizelge 1. Kimyasalların hareketlilik sınıfları (K_{oc})

Çok hareketli $K_{oc} < 30$	Orta hareketli $30 < K_{oc} < 500$	Hareketsiz $K_{oc} > 500$
Aldicarb(temik)	Alachlor(Lasso)	Butylate(Sutan)
Carbofuran(Furadan)	Atrazine(AAtrex)	DCPA(Dachtal)
Dicamba(Banvel)	Bromacil(Hyvar)	Dieldrin(Alvit)
2.4 - D	DBCP(Nemagon)	Diuron(Karmex)
Metalaxy(Apron)	Metribuzin(Sencor)	Glyphosate(Roundup)
Picloram(Tordon)	Simazine(Princeb)	Pronamide(Kerb)
Oxamyl	Terbacil(Sinbar)	Triallate(Fargo)
	Cynazine	Trifluralin(Treflan)
	(Karmex)Diuron	DDT
	Dinoseb	Disulfoton
	Fenamiphos	

Kimyasalların yarılanma ömrü (gün) onların kalıcılığını belirlemekte kullanılan bir ölçü olup Çizelge 2'de kalıcılıklarına göre bazı ot öldürücülerin sınıflandırılması verilmiştir (ANONYMOUS, 1989).

Denemeler sonucu tesbit edilmiş bazı temel kimyasalların tahmini kalıcılık ve hareketlilik sınıfları Çizelge 3'de verilmiştir (ANONYMOUS, 1989).

Çizelge 2. Kimyasalların kalıcılık (persistence) sınıfları ($T_{1/2}$), gün

Az kalıcı $T_{1/2} < 30$	Orta kalıcı $30 < T_{1/2} < 100$	Kalıcı $T_{1/2} > 100$
Aldicarb(temik)	Atrazine(AAtrex)	Bromacil(Hyvar)
Alachlor(Lasso)	Carbofuran(Furaan)	DDT
Dicamba(Banvel)	Diazinon	DBCP(Nemagon)
2.4 - D	Glyphosate(Roundup)	Dieldrin(Alvit)
Butylate(Sutan)	DCPA(Dachtal)	Diuron(Karmex)
Metalaxy(Apron)	Metribuzin(Sencor)	Picloram(Tordon)
Disulfoton	Pronamide(Kerb)	Cynazine
Fenamiphos	Simazine(Princeb)	
Oxamyl	Terbacil(Sinbar)	
	Triallate(Fargo)	
	Trifluralin(Treflan)	

Çizelge 3. Yıkanabilir bazı kimyasalların tahmini hareketlilik K_{oc} ve kalıcılık değerleri $T_{1/2}$

Kimyasalın Adı	K_{oc}	$T_{1/2}$
Alachlor	190	7
Aldicarb	12	28
Atrazine	163	48
Bromacil	72	350
Carbofuran	29	37
Cyanazine	168	108
Dicamba	2	14
Diuron	383	328
Dinoseb	120	30
Disulfoton	1603	5
Fenamiphos	171	10
Oxamyl	9	6
Picloram	26	138
Simazine	138	75
Terbacil	46	50

3. İklim ve kültürel işlemlerden kaynaklanan faktörler

- Günlük ortalama yağış ve sulama derinliği, cm
- Evapotransprasyonla kaybolan günlük ortalama su miktarı, cm

Toprakta Çözelti Taşınmasının Mekanizması

Hidrolik geçirgenliğin bilinmemesi durumunda, q akış debisi ve V_m volumetrik su içeriğine sahip toprakta ortalama su akış hızı (V_a), Darcy kanununa göre (HANKS ve ASHCROFT, 1980, HILLEL, 1980);

$$V_a = q / V_m \quad (6)$$

ile belirlenmekte ve sabit akış hızında L toprak derinliği için akışı tamamlama süresi (t);

$$t = L / V_a \quad (7)$$

eşitliği ile saptanmaktadır. Bu eşitlik çözelti adsorbsiyonunun olmadığı uniform akış koşullarında geçerlidir. Ancak toprakta, makro por seviyesindeki akış, hidrodinamik disperiyon ve difüzyon etkileri altındadır ve uniform olmayan akış özellikleri gösterir. Bu nedenle ortalama su hızı (V_a)nın tutunma katsayısı (R) ile düzenlenmiş etkili çözelti hızı (V_e) kullanılmalıdır (WALKER ve SKOGERBOE, 1987).

$$V_e = V_a / R \quad (8)$$

bu koşullarda çözelti akış tamamlama süresi L toprak derinliği için

$$t = L / V_e \quad (9)$$

eşitliği ile saptanmaktadır. 6 nolu ve 8 nolu eşitlikler 9 nolu eşitlikte yerine konursa t eşitliği

$$\begin{aligned} t &= (R.L) / (q / V_m) \\ t &= (L.R.V_m) / q \end{aligned} \quad (10)$$

şeklinde çözülebilir.

Bu modelde ayrıca kimyasal seçeneklerinin birbirleri ile karşılaştırılmasında veya kendisinin çevre zarar riskinin belirlenmesinde kullanılacak bir risk faktörü katsayısı, risk faktörü (RF);

$$\begin{aligned} RF &= M(t) / M(0) = \exp(-DC.t) \\ &= \exp[(-0.693.L.R.V_m)/(q.T_{1/2})] \end{aligned} \quad (11)$$

eşitliği ile belirlenmektedir (MULLA, 1989). Farklı kimyasalların

çevre zarar potansiyel risklerinin karşılaştırılmasında kullanılacak ölçü, kimyasalın sahip olduğu risk faktörü değerinin büyüklüğüdür. Risk faktörü değeri büyüdükçe potansiyel bulaşma riski artmaktadır. Kimyasallar kullanım açısından değerlendirilirken taşınma süresi en az ve en küçük risk faktörü değerine sahip olanlar tercih yada tavsiye edilmelidir. Genel olarak potansiyel bulaşma risklerinin sınıflandırılması ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Risk faktörü (RF) değerlerinin potansiyel bulaşma riskleri yönünden sınıflandırılması

Risk Faktörü	Bulaşma Riski
0.0001 den düşük	Az
0.0001 – 0.1 arası	Orta
0.1 den büyük	Fazla

Modelde Kabul Edilen Ön Şartlar

Kimyasalların yeraltı ya da taban suyuna bulaşma potansiyellerinin belirleneceği bu modelde çözümü kolaylaştıracak bazı varsayımlar yapılmıştır. Bu nedenle saptanan değerler tarla koşullarındaki gerçek koşulları yansıtmayacağı durumlar söz konusu olabilir.

1. Toprak katmanlarından sızma ancak, toprak nem düzeyi su tutma kapasitesine ulaştıktan sonra başlamaktadır. İnce bünyeli topraklarda bu model, çözültü sızma derinliğini bir miktar fazla tahmin etmektedir.
2. Toprak katmanının uniform olduğu, bu nedenle su akışının düzenli bir şekilde tüm gözeneklerden olduğu, tercihli ya da makro-gözenek akışı olmadığı varsayılmaktadır.
3. Evapotranspirasyonla olan su kayıpları yalnızca kök bölgesinden ve tüm katmanlardan eşit bir şekilde olmakta ve ilk önce toprağın en ıslak yerinden başlamaktadır.
4. Kapillar hareketle suyun yukarı doğru hareketinin yok sayıldığı ve bitki tarafından çözültü kullanımının olmadığı varsayılmaktadır.

5. Kimyasalın buharlaşarak havaya karışması ya da dekompozisyona maruz kalabilecek miktarları ihmal edilmektedir.
6. Kimyasalın denge adsorbsiyonunun doğrusal bir ilişki gösterdiği, yarılanma ömrü katsayısının sabit olduğu ve birinci dereceden bir denklemle açıklanabileceği varsayılmaktadır.

MODELİN UYGULAMALARI

UYGULAMA 1

Bir bölgede toprak üzerine suda eriyen bir kimyasal dökülmüştür. Bu kimyasalın bitki tarafından alınmadığı ya da toprak tarafından adsorbe edilmediğini farz edelim. Bu bölgede ortalama yıllık yağışlar 600 mm ve yıllık ET ise 450 mm'dir. Toprağın altında yaklaşık 1.5 m'de taban suyu bulunmaktadır. Toprak tüm katman boyunca homojen bir bünye göstermekte ve 0.25 m/m volumetrik su içermektedir. Doymamış koşullardaki üst toprak katmanından bu kimyasalın taban suyuna ne kadar sürede ulaşacağını tahmin edebiliriz.

Kimyasalın adsorbe edilmediği ve düzenli akışın varsayıldığı koşullar için çözeltinin akış hızı

$$\begin{aligned}V_a &= q / V_m \\ &= (600 - 450) \text{ mm/yıl} / 0.25 \\ &= 600 \text{ mm/yıl}\end{aligned}$$

Taban suyuna ulaşma süresi ise;

$$\begin{aligned}t &= L / V_a \\ t &= 1500 \text{ mm} / 600 \text{ mm/yıl} \\ t &= 2.5 \text{ yıl}\end{aligned}$$

Bu kimyasalın belirlenen koşullar ve varsayımlar dahilinde bu taban suyuna ulaşması için geçmesi gerekli olan süre 2.5 yıldır.

UYGULAMA 2

Sulu tarım yapılan bir alanda çiftçiye yörenin ilaç bayisi bromacil ve diuron gibi 2 adet seçenek sunmuştur. Çiftçi tarlasının 5 m altındaki taban suyuna bu pestisitlerden hangisinin bulaşma riskinin fazla olduğu konusunda yardım istenmektedir. Çiftçi günlük ortalama 0.5 cm sulama suyu kullanmaktadır. Yapılan toprak analizleri sonucu

toprağın oldukça homojen bir yapıya ve 0.2 volumetrik su kapsamına ve 1.3 g/cm^3 hacim ağırlığına sahip olduğu saptanmıştır. Yörenin topraklarında organik karbon miktarı % 0.5 olarak belirlenmiştir. çiftçi hangi pestisit kullanmalıdır? Bu kimyasallar taban suyuna kaç günde ulaşacaklardır?

Modelin uygulanması ile elde edilen sonuçlar Çizelge'de sunulmuştur.

İŞLEMLER	Bromacil	Diuron
K_{oc}	72	383
$T_{1/2}$	350	328
$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$	0.36	1.915
$R = 1 + (B_d \cdot K_d) / V_m$	3.34	13.4475
$R \cdot V_m$	0.668	2.6895
$V_e = q / (R \cdot V_m)$	0.7485	2.6895
$t = L / V_e$	668	2690
$RF = \exp[(-0.693 / T_{1/2}) \cdot t]$	0.27	0.0034

Değerlendirme sonuçlarına göre Bromacil'in taban suyuna ulaşması 668 günde tamamlanmaktadır. Aynı mesafe Diuron tarafından 2690 günde alınmaktadır. Ayrıca risk faktörü değerleri karşılaştırıldığında Bromacil fazla riskli grubuna girerken Diuron az riskli gruba girmektedir. Bu nedenle iki seçenek arasından Diuron tavsiye edilecek herbisit olmalıdır.

UYGULAMA 3

Yıllık ortalama yağışın 450 mm olduğu ve ortalama 625 mm sulama suyu kullanılarak tarım yapılan bir bölgede yıllık ortalama evapotranspirasyon kayıpları 430 mm'yi bulmaktadır. Taban suyu seviyesi ise yağışlara bağlı olarak 1-3 m arasında değişmektedir. Bu bölgede DDT zararlılarla mücadele amacı ile yaygın bir şekilde kullanılmakta ve çevreci gruplar bu kullanımdan vazgeçilmesini istemektedirler. Sorumlu kuruluş bu konuda araştırma yapılmasını istemektedir.

Yapılan ön çalışmada toprağın 1 m derinliğinde ortalama % 0.5

organik madde saptanmış ve hacim ağırlığı ise 1.25 g.cm^3 olarak bulunmuştur. Tüm profil boyunca toplam 350 mm su ölçülmüştür. Laboratuvar çalışmaları DDT'nin K_{oc} ve $T_{1/2}$ değerlerini sırası ile 550 ve 495 olarak göstermiştir.

A. Yukarda belirtilen şartlarda taban suyu seviyesinin 1 m derinde olduğu yıllarda DDT kullanımını sakıncalı mıdır?

B. Aynı şartlarda, profildeki organik madde seviyesinin % 1'e çıktığı yerlerde DDT kullanımını tavsiye edilebilir mi?

C. A konusunda belirlenen şartlarda sulama yapılmadan tarım yapılsa (bu şartlarda evapotranspirasyon kayıpları 280 mm olarak saptanmıştır) DDT kullanımını nasıl bir sonuç verir?

D. A konusu koşullarında yıllık toplam sulama suyu 1000 mm'ye çıkarılsa DDT kullanımını sakıncalı mıdır?

E. A konusu şartlarında, taban suyu seviyesinin 3 m'ye düştüğü yıllarda DDT kullanımı, taban suyu seviyesinin 1 m olduğu yıllara göre aynı derecede sakıncalı mıdır? (3 m toprak profilinde toplam 1050 mm su olduğu saptanmıştır)

A, B ve E için günlük q hesabı

$$q = (\text{Yağış} + \text{Sulama suyu} - \text{ET kayıpları}) / 365 \text{ (yılıda gün sayısı)}$$

$$q = (45 + 62.5 - 43) / 365$$

$$q = 0.18 \text{ cm/gün}$$

C konusu için

$$q = (45 - 25) / 365$$

$$q = 0.046 \text{ cm/gün}$$

D konusu için

$$q = (45 + 100 - 43) / 365$$

$$q = 0.279 \text{ mm/gün}$$

PARAMETRELER	KONULAR				
	A	B	C	D	E
L(cm)	100	100	100	100	300
f _{oc} =(% OM)	0.005	0.01	0.005	0.005	0.005
K _d	2.75	5.5	2.75	2.75	2.75
V _m =m/m	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
R	10.82	20.64	10.82	10.82	10.82
R.V _m	3.787	7.224	3.787	3.787	3.787
q,cm/gün	0.18	0.18	0.045	0.279	0.18
t(gün)	2105	4016	8265	1357	6397
exp(RF)	-2.947	-5.622	-11.571	-1.900	-8.842
RF	0.052	0.0036	0.000009	0.15	0.00014
Bulaşma riski	Orta	Orta	Az	Fazla	Orta

$$K_{oc} = 550, T_{1/2} = 495, D_b = 1.25$$

Bu uygulamada, uygulama koşullarındaki değişimin (A...E) DDT'nin taban suyuna bulaşması yönünde nasıl etkiye bulunduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Kuru tarım koşullarında (C), DDT kullanımı en az risk taşımaktadır (En.yüksek t ve en düşük RF katsayısı). Taban suyunun 3 m derinlikte olduğu koşullarda (E) göreceli olarak yine DDT kullanımı fazla risk göstermemektedir. Sulu koşullarda risk, kullanılan sulama suyundaki artışa paralel artmaktadır. En riskli DDT kullanımı konuları sırası ile D ve A olmuştur. Herhangi bir kimyasalın kullanımı zorunluluk teşkil ettiğinde alınacak önlemlerden birisi, sulama suyunda kısıntıya gitmek şeklinde olabilir (A ve D konularının t ve RF değerlerinin karşılaştırılması). Bir diğer önlemden toprakta bulunan organik madde miktarını arttıracak tarım tekniklerinin kullanılması şeklinde olabilir (Ahır gübresi, hasat artıklarının toprağa karıştırılması gibi). B konusunda, A konusuna göre organik madde miktarındaki %0.5 artış, riski azaltma yönünde çok olumlu etkilerde bulunmuştur.

Bu uygulamadan da izlenebileceği gibi kimyasal kullanım riskinde sadece kimyasalın kendisi (genel kanının aksine) etkili

olmamakta, kullanıldığı ortamın özellikleri de etkili olmaktadır. İçinde bulunan şartların herhangi bir kimyasalı kullanmayı zorunlu kılması durumunda, kullanım riskini azaltıcı tedbirler mevcuttur. Bunlar daha az sulama suyu kullanımı, toprak organik madde düzeyinin artırılması, taban suyu seviyesinin düşürülmesi için gerekli tedbirler alınması şeklinde özetlenebilir.

Bu modeli kullanacakların, modeldeki önşartlardaki koşullardan olacak büyük sapmaların sonuçları yorumlamada yanlışlığa götürebileceğini hatırlarında tutmaları gerekir.

KAYNAKLAR

- ANONYMOUS, 1989.** Pesticite Movement in Soils–Groundwater Protection. EB1543. Cooperative Extension College of Agriculture and Home Economics. Washington State Univ., Pullman.
- HANKS, R.J. ve G.L., ASHCROFT, 1980.** Applied Soil Physics. Academic Press Inc. NY.
- HILLEL, D., 1980.** Fundamental of Soil Physics. Academic Press Inc. NY.
- MULLA, D.J., 1989.** Physics of Soil–Water–Plant Relations. Soils 413 ders notralı. Washington State University. WA.
- WALKER, W.R. ve G.V., SKOGERBOE, 1987.** Surface Irrigation, Theory and Practice. Prentice–Hall, Inc. New Jersey.