

## **Prof.Dr.Koray Haktanır-Doç.Dr.Sevinç Arcağ ENZİMLER, ÖZELLİKLERİ VE TOPRAKTAKİ İŞLEVLERİ**

Yaşayan maddenin en dikkat çekici özelliklerinden biri, son derece çeşitli ve karışık kimyasal reaksiyonları büyük bir hızla gerçekleştirmek gücünde olmasıdır. Mevcut teknolojik olanaklarla bu olayları yapmak güç veya olanaksız olduğu halde, yaşayan hücre bu reaksiyonları son derece kolaylıkla yürütmektedir.

Yaşayan organizmada bütün biyokimyasal ve biyolojik olayları yapan, enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** adı verilen maddelerdir. Bütün bu olaylarda enzimlerin yaptıkları tesir şekli, katalizörlerin aynıdır. Zira reaksiyona katıldıkları ve kendilerinden bir şey sarfedilmediği halde enzimler bu reaksiyonları çabuklaştırır ve teşvik ederler. Bu nedenle enzimleri organik katalizör**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** veya biyokatalizör olarak adlandırmak mümkündür. Enzim adını ilk olarak 1878 yılında **Kühne** kullanmıştır. Enzimler, hücre stoplazmalarında, mitokondrilerde bulunmakta ve özelliklerini hücre çeşidine göre kromozomlar tayin etmektedir. Yaşayan hayvansal veya bitkisel organizmaların hücrelerinde organizmaya göre çeşitli enzimler bulunmakta, hücre veya organizmanın yaşamsal işlevleri için gerekli bütün kimyasal reaksiyonlar enzimler tarafından yürütülmektedir.

Enzimler bütün madde değişimi reaksiyonlarına katılırlar ve enzimsiz hayat olayları oluşamaz. Özet olarak denilebilir ki enzimler, organizmadan elde edilebilen fakat faaliyet göstermeleri için organizmaya ihtiyaç göstermeyen yüksek moleküllü katalizörlerdir.

Enzimlerin başlıca görevi, yüksek moleküllü organik maddeleri basit yani hücreye geçebilecek ve neticede organizma tarafından yararlanılabilecek şekle sokmaktır. Başta da belirtildiği gibi enzimler katalizör**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olarak ve sadece mevcudiyetleriyle, reaksiyonların daha hızlı oluşumunu sağlarlar. Örneğin proteinleri, kimyasal yollarla aminoasitlere hidrolize etmek için 108 derecede % 20 lik hidroklorik asitle 24 saat kaynatmak gerekirken, sindirim enzimleri aynı işi çok hafif konsantrasyondaki hidroklorik asitle 4 saat içinde gerçekleştirirler.

Son araştırmalara göre, enzimlerin büyük bir kısmı iki unsurdan oluşmuştur. Sistemin birinci kısmını büyük bir protein**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** molekülü oluşturur ki buna **apo-enzim****Hata! Yer işareti**

tanımlanmamış.Hata! Yer işareti tanımlanmamış. veya **feron**Hata! Yer işareti tanımlanmamış. adı verilir. İkincisi daha küçük moleküllu, proteinden farklı aktif bir grup olup, katalizörHata! **Yer işareti tanımlanmamış.** ödevi görür, buna **ko-enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış. veya **agon**Hata! Yer işareti tanımlanmamış. adı verilir. İkinci kısmın proteine olan bağı çok gevşektir. Her iki kısım birden **holo-enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış. teşkil ederler. Bu gibi enzimler bir çeşit proteidHata! **Yer işareti tanımlanmamış.** olarak kabul edilebilirler (proteidler gerçek protein olmayan unsurlardan ibaret bileşiklerdir). Şayet bu iki unsurdan birisi ayrılacak olursa enzim tesirini kaybeder, bir araya getirildiklerinde tekrar tesirini kazanır. Apo-enzim protein olduğundan, ısıya karşı dayanıksızdır, ko-enzimi taşıma ödevini görür ve sistemin özelliklerini tayin eder. Ko-enzim ise protein karakterinde olmadığından ısıya karşı dayanıklıdır apo-enzim sürekli bir ko-enzimi taşımaz, başka bir ko-enzimi de taşıyabilir. Bazı enzimlerde aktivatörlüğü, vitaminler veya özel gruplar yapmaktadırlar. Bu nedenle bir vitamin bir dereceye kadar ko-enzim de sayılabilir. Bazı enzimler vardır ki bir enzim sisteminden oluşmuştur, yani içinde birçok enzim bireyleri bulunmaktadır.

Enzimler her organizmada, muhtelif organlara değişik şekillerde dağılmış durumdadırlar. Aynı familyadaki mikroorganizmalar dahi, değişik miktarlarda farklı enzimHata! **Yer işareti tanımlanmamış.** bulundururlar.

Bazı enzimler, enzimatik faaliyette bulunabilmek için mutlaka bazı anorganikHata! **Yer işareti tanımlanmamış.** bileşiklere ihtiyaç gösterirler, bu bakımdan en önemli rol oynayan anorganik unsurlar, çeşitli metal iyonlarıdır. Böylece mangan, magnezyum, demir, bakır, çinko ve potasyum gibi metal iyonları proteinden oluşmuş metal-enzimHata! **Yer işareti tanımlanmamış.** sistemlerini oluşturmaktadır. Kendilerine özgü reaksiyonları yapabilmeleri için, yapılarında metal iyonlarına ihtiyaç gösteren enzimler üç gruba ayrılmaktadır (Nason-Hoffmann-Ostenhof).

1. Enzimin aktif kısmında tesir edici unsur rolünü oynayan metali içeren metal enzimler olup, katalazHata! **Yer işareti tanımlanmamış.**, peroksidazHata! **Yer işareti tanımlanmamış.**, sitokrom enzimleri bu gruba girerler. Demir ve bakır metalleri bu grup için önemlidir.
2. Yapısındaki metal iyonu doğrudan doğruya tesir edici olan, yani Ko-enzimHata! **Yer işareti tanımlanmamış.** rolü oynayan metal enzimlerdir. Bunlardaki metal, çinko ve bakırdır (Bir çok oksidazlarda olduğu gibi).

3. Yapılarında bulunan metaller az çok dissosiyelendirilmiştir. **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** Olabilen metal enzimler olup, bu grup enzimlerdeki metalin yerini diğer bir metal alabilmektedir, fosfatazlarla, karboksilazlar **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve enolazda olduğu gibi.

Enzimler yaşayan hücreler tarafından oluşturulmakla birlikte, yararları bakımından her zaman hücreye bağlı değildirler. Bu nedenle çoğu hücreye bağlı olmakla birlikte, bazıları da hücreden ayrılabilir, yani ortama salgılanabilirler. Enzimler oluştukları hücrelerin içinde ve dışında ödev görmelerine göre **Endo** ve **Ekto enzimler** olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Oluştukları hücrelerde cereyan eden çeşitli biyokimyasal reaksiyonları katalizleyen enzimlere **endo enzim** **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** adı verilmektedir. Hücrelerin, hücre dışındaki absorbe edemeyecekleri kadar büyük moleküllü besin maddelerini parçalamak için dışarıya saldıkları enzimlere de **ekto-enzim** **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** adı verilmektedir. Bu enzimler ortama geçerek tesirlerini gösterip yüksek moleküllü maddeleri parçalayarak, bunları hücre membranından içeriye geçecek şekle sokarlar. Toprak enzimolojisinin ağırlık merkezini ekto-enzimler ve bunların katalizledikleri reaksiyonlar teşkil etmektedir.

Enzimler parçalama yaptıkları gibi sentez de yapmaktadırlar, yani enzimlerin büyük bir kısmı reversibldir **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** etkiye sahiptir. Parçalayabildikleri bileşikleri, parçalanma ürünlerinden tekrar sentez de edebilirler. Sentez yapan enzimler bilhassa metabolizma bakımından önem taşırlar. Enzim sistemlerinde veya reaksiyon ortamında organizmalar için mutlak gerekli olan iz elementlerin iyonlarının bulunması, enzimlerin aktivitelerini arttırmasına karşılık civa, gümüş gibi ağır metal katyonlarının bulunması aksi tesir yapar. Fakat enzimin aktivite göstermesini engelleyen madde uzaklaştırılınca enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** tekrar etkisini gösterebilir.

Enzimlerin aktivitesinde bilhassa iki faktör rol oynamaktadır.

1. Hidrojen iyonları konsantrasyonu

2. Ortamın sıcaklığı

Enzimlerin etkileri ortamın asitlik derecesine yani hidrojen iyonları konsantrasyonuna bağlıdır. Enzimlerin aktif oldukları pH dereceleri, onun cinsine göre değişiklik göstermekte olup, en fazla aktif olduğu pH derecesine optimal **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** pH denmektedir. 1.2-9.0 pH birimleri dışında genellikle enzimler aktivite

göstermemektedirler. Optimal pH derecesi genellikle enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** proteinin, izo-elektrik noktasındaki pH derecesidir. pH'dan dolayı enzim aktivitesinin tesirsiz hale gelmesi reversibl **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bir olay olup pH'nın düzelmesi ile tekrar aktivite kazanılabilmektedir. Ancak çok ekstrem pH dereceleri enzim proteininin denatüre olmasına yol açtığından, enzimin tekrar aktivite göstermesi düşünülemez.

Sıcaklığa gelince; her enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** belli ısı derecelerinde en fazla aktivite göstermektedir, bu ısı derecesine o enzimin optimum ısı derecesi denmektedir. Enzimler ısıya karşı hassastırlar, optimum dereceler aşıldığında aktivite azalmaya başlamakta, 60-100 derecelerde tamamiyle durmaktadır. Bunun nedeni enzim proteininin denatüre olması ve böylece enzimin bozulmasıdır. Bu olay irreversibldir. Enzimlerin optimum ısısı genellikle 35-55 dereceler arasında bulunmaktadır. Optimum enzim aktivitesini sağlayan sıcaklığa kadar, sıcaklığın her 10 derece yükselmesi ile aktivite iki misli artmaktadır (Van Hoff Kuralı).

Canlı hücrelerden bir kısım enzimleri ekstraksiyonla ayırarak izole etmek mümkünse de, kimyasal yapılarını bulmak çok zordur, çünkü enzimlerde yüksek molekülü ve çok karışık bileşimde protein **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** unsurları bulunmaktadır. Enzimlerin bulunduğu ortamdan izole edilmeleri sırasında aktivitelerinde genellikle azalma olduğu saptanmıştır. Balls Summer ve Falk'a göre enzimlerin aktif kısımları hiç bir zaman çözeltiye yalnız olarak geçmezler ve daima kolloid kısımla birlikte bulunurlar. Diğer bir deyimle enzimlerin aktif kısımları izole edilemezler.

Toprakta aktiviteleri tayin edilen enzimler, mikroorganizmaların kendi vücut sentezleri için ve organik maddeyi parçalamak üzere dışarı saldıkları ve büyük kısmı toprakta kolloidler tarafından adsorbe edilen, fakat faaliyetlerini şartlara göre sürdürebilen enzimlerdir.

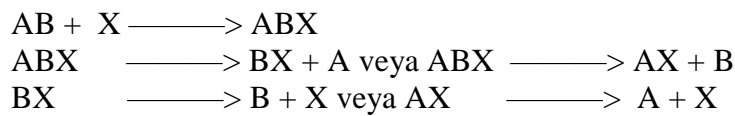
Her enzimin etki yapabildiği belirli bir bileşik grubu olup, bu bileşiklere o enzimin substratı **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** adı verilmektedir. Böylece enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, ismini o substrata göre almaktadır. Toprak organik maddeleri çok çeşitli substratları ihtiva ettiğiinden, bilinen enzimlerin hemen hepsi toprakta bulunmaktadır. Fakat bunları toprak kolloidlerinden izole ederek, teker teker incelemeye şimdiye kadar geliştirilmiş olan metodlar yeterli değildir. Enzim aktiviteleri, etki etmiş oldukları substratlarından hidrolize olan madde miktarının ölçülmesi yoluyla tayin edilmekte ve böylece indirekt yolla da teşhisleri yapılmaktadır. Hidrolaz grubu enzimleri, yüksek

polimer**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bileşiklerin molekülleri arasındaki C-O, C-N bağlarına etki ederek, hidroliz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** yolu ile bu bağları çözerler. Bu gruba dahil olan esteraz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve lipaz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzimleri ester ve yağları, fosfataz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzimleri fosforik asidin esterlerini, glikozidazlar da oligo ve polisakkaritlerle, glikozitleri hidrolize ederek daha küçük moleküllü basit bileşiklere kadar parçalarlar.

Enzimlerin katalitik etkilerinin mekanizması, tam anlamı ile anlaşılmuş ve çözülmüş değildir. Bu hususta ilk akla gelen basit teori, enzimlerin kimyasal reaksiyonları hızlandırdığı, fakat meydana gelen yeni bileşiğin bünyesine dahil olmadıklarıdır. Substrat ve enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** arasında geçici bir kombinasyon mevcuttur.

Enzimatik reaksiyonlar, genellikle enzimlerin substrat**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ile birleşmeleri sonucu, önce bir kompleks teşkil etmeleri ve sonra da bu komplekslerin parçalanması esasına dayanmaktadır. Enzimlerin etkileriyle yürüyen kimyasal reaksiyonlar, diğer bazı kimyasal reaksiyonlar gibi tamamlanmakta ve geriye bir kısım substrat kalmaktadır. Enzimlerin oluşturdukları reaksiyonların reversibl**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** karakterli olduklarını daha önce belirtmiştik. Enzimatik reaksiyonun hızı ve elde edilen ürünler enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve madde miktarlarına bağlı olduğu gibi ortam şartlarına göre değişmektedir.

Enzimlerin substratlarıyla yapmış oldukları kompleksler stabil**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olmadığından, yeni stabil maddelerin meydana gelebilmesi için bir seri reaksiyonların cereyan etmesi gerekmektedir. Jorgensen, hidrolitik enzimatik reaksiyonların yürüyüşünü basit bir örnekle şu şekilde açıklamıştır.



Enzimler substrattaki bir molekülü, o molekülü oluşturan parçalara ayırdıktan sonra, diğer bir komşu moleküle etki ederek kısa bir süre içinde substratın diğer moleküllerini de hidrolize ederek parçalayabilirler.

Teorik olarak, enzimatik reaksiyon sonucu oluşan parçalanmış ürünler, mikroorganizma ve bitkiler tarafından adsorbe edilmeyecek büyüklükte iseler, başka bir enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** çeşidi bunları daha küçük moleküllü bileşiklere parçalarlar. Diğer bir

deyimle, büyük moleküllü bir toprak organik maddesinin, mikroorganizmalar tarafından alınabilir duruma gelmesi için, çeşitli enzimlerin faaliyet göstermesi gerekir.

Enzimlerin yürütemediği reaksiyonlarda, A gibi bir maddenin B gibi bir maddeye dönüşümü için, A maddesinin enerji seviyesinin B'ye

nazaran fazla olması gerekir. Buradaki reaksiyon sadece A maddesinin miktarına bağlı değil, aynı zamanda moleküllerin değişik enerjiye sahip olmalarına da bağlıdır. Böylece A maddesinin B'ye dönüşebilmesi için gerekli enerji, kritik enerjiden fazla olacak olursa reaksiyon cereyan eder. A maddesinin B şekline dönüşümünden önceki enerjiye "Aktif enerji" denmektedir. Enzimlerin bu reaksiyon ortamında bulunmaları halinde, başlangıç maddesi ile ürün arasındaki enerji farkı düşük olsa bile, enzimler bu reaksiyonu yürütebilmekte, yani gerekli aktivasyon enerjisini küçültmektedirler. Reaksiyon sonunda meydana gelen ürünün aktif enerjisi, başlangıç maddesine nazaran daha az olduğundan, enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** B kompleksinden ayrılır ve yeniden A maddesine geçerek reaksiyonun tekrarlanmasına sebep olur.

### 6.1. Toprak Enzimleri

Toprakların toplam biyokimyasal aktivitesi, enzimler tarafından katalizlenen bir seri reaksiyonları kapsamaktadır. Bu reaksiyonlar yaşayan veya ölü organizmalar içinde olabildiği gibi hücre dışı (ekstraselüler **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**) enzimler tarafından da yürütülebilir. Ekstraselüler enzimler serbest veya toprak kolloidlerine bağlı durumda olabilir.

Toprakta 50' den fazla enzimin aktivite gösterdiği saptanmıştır. Bu enzimler çoğunlukla **oksidoredüktazlar, hidrolazlar ve transferazlar** şeklinde gruplanırlar (Çizelge 6.1 ve 6.2).

Toprak enzimleri ile çalışmak, saf enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** sistemleri ile çalışmaktan daha zordur. Bunun nedeni kullanılan substratın tükenişi ve ortaya çıkan yeni ürünlerin izlenmesindeki güçlükten kaynaklanmaktadır. Topraktaki mikrobiyal ayrışma **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olayları, başlangıçta lignoselülozlar **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** gibi büyük moleküllü polimerlerin ekoenzimler ile etkilenecek depolimerizasyona uğraması ile gerçekleşir. Topraktaki çok çeşitli organik substratı etkileyebilecek bir enzim sistemi bulunmaktadır. Topraklardaki

selüloz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** (selülozu ayrıştıran ekso-enzimler) kompleksi tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Bu ayrışma süreci toprak biyoteknolojisi **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bakımından da büyük öneme sahiptir.

**Çizelge 6.1 Toprak Enzimleri (Thorton ve McLaren 1975)**

<b>Enzim Oksidoredüktazlar</b>	<b>Katalizlediği Reaksiyon</b>
Katalaz	$2 \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
Katesol oksidaz (tirosinaz)	$\text{o-difenol} + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{o-kinon} + \text{H}_2\text{O}$
Dehidrogenaz	$\text{XH}_2 + \text{A} \longrightarrow \text{X} + \text{A H}_2$
Difenol oksidaz	$\text{p-difenol} + 1/2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{p-kinon} + \text{H}_2\text{O}$
Glikoz oksidaz	$\text{Glikoz} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{glukonik asit} + \text{H}_2\text{O}$
Peroksidaz ve polifenol oksidaz	$\text{A} + \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{okside}$ <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> $\text{A} + \text{H}_2\text{O}$
Ürat oksidaz (urikaz)	$\text{Ürik asit} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{allantoin} + \text{CO}_2$
<b>Transferazlar</b>	
Transaminaz	$\text{R}_1\text{R}_2\text{-CH-NH}_3 + \text{R}_3\text{R}_4 \text{ CO} \longrightarrow \text{R}_3\text{R}_4\text{-CH-NH}_3 + \text{R}_1\text{R}_2 \text{ CO} \longrightarrow$
Transglikosilaz ve Levansükraz	$\text{nC}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{ROH} \longrightarrow \text{H}(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n \text{OR} + \text{nC}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
<b>Hidrolazlar</b>	
Asetilesteraz	$\text{Asetik ester} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Alkol} + \text{asetik}$ <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> $\text{asetik}$ <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
$\alpha$ ve $\beta$ amilaz <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>	1,4 glikozidik bağların hidrolizi
Asparaginaz	$\text{Asparagin} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Aspartat} + \text{NH}_3$
Selülaz	$\beta$ -1,4 glukon bağlarının hidrolizi
Deamidaz	$\text{Karboksilik asit amid} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Karboksilik asit} + \text{NH}_3$
$\beta$ - Fruktofuranozidaz (invertaz <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> , sükras, sakkaraz <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> )	$\beta$ -fruktofuranozid + $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{ROH} + \text{Fruktoz}$
$\alpha$ - ve $\beta$ - galaktozidaz	$\text{Galaktozid} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{ROH} + \text{galaktoz}$ <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>

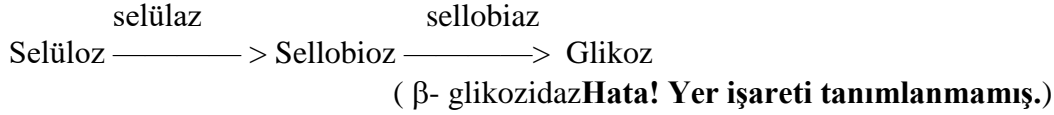
$\alpha$ - ve $\beta$ - glikozidaz <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>	Glikozid+ H <sub>2</sub> O $\longrightarrow$ ROH+glikoz <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
İnülaz	$\beta$ - 1,2 fruktan bağlarının hidrolizi
Likenaz	$\beta$ - 1,3 selotrioz bağlarının hidrolizi
Lipaz	Trigliserid+3H <sub>2</sub> O $\longrightarrow$ gliserin+yağ asitleri
Metafosfataz	Metafosfat $\longrightarrow$ ortofosfat <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
Nükleotidaz	Nükleotidlerin defosforilasyonu
Fosfataz	Fosfat esterleri + H <sub>2</sub> O $\longrightarrow$ ROH+fosfat
Fitaz	İnositol hekza fosfat + 6 H <sub>2</sub> O $\longrightarrow$ inositol+ 6 fosfat
Proteaz	Proteinler $\longrightarrow$ peptidler ve amino asitler
Pirofosfataz	Pirofosfat + H <sub>2</sub> O $\longrightarrow$ 2 ortofosfat <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
Üreaz	Üre $\longrightarrow$ 2NH <sub>3</sub> + CO <sub>2</sub>



**Çizelge 6.2 Toprak enzimHata! Yer işareti tanımlanmamış. aktivitelerinin komponentleri (Toprakta deneysel olarak bulunan anakomponentler büyük harfler ile yazılmıştır).**

Topraktaki enzimatik aktivite									
O r i j i  n  T o p r a k t a k k i  D u r u m u	Topraktaki birikmiş enzimler			Sürekli salgılanan ekstraselülerHata! Yer işareti tanımlanmamış. enzimler		Toprak faunası, bitki kökleri ve mikroorganizmaların hücre içi enzimleri			
	Mikrobiyal hücresele komponentlere bağlı		Hücresele komponentlere bağlı olmayan		Mikroorganizmalardan		Bitkilerden		
	ÇOĞALMAYAN HÜCREDEKİ ENZİMLER	Ölü hücrelerdeki enzimler	Hücresele fragmentlerdeki	Mikroorganizma ve toprak faunasından kökenlenen			Bitki köklerinden kökenlenen		
				Parçalanmış hücrelerdeki iç enzimler	Hücre dışı enzimler				
				Sıvı (Toprak çözeltisi) fazdaki enzimler					
TOPRAK BİLEŞENLERİNE BAĞLI ENZİMLER					ORGANİZMALARDAKİ ENZİMLER				

Selüloz ayrışmasında C<sub>1</sub>-selüloz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** (veya ekso-glikonaz) sinerjistik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olarak çalışmakta ve C<sub>1</sub>-selüloz aktivitesi için gereken substrat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bölümleri C<sub>x</sub>-selüloz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** tarafından üretilmektedir. Bu ardışık süreçte şöyle bir mekanizma işlemektedir:



Azot döngüsü tarımsal, ekonomik ve ekolojik önemi olan temel döngü olaylarından. Azot fiksasyonundan sorumlu olan **nitrogenaz** **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzimi üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan bir enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olmakla birlikte, topraktaki azotlu bileşiklerin ayrışmasının son kısmında etkili olan üreaz enzimi de çok önemli ekstraselüler **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bir toprak enzimidir. Nükleik asit mineralizasyonundan türeyen veya hayvan salgılarında bulunan ve aynı zamanda önemli bir ticari gübre olan ürenin bitki ve diğer mikroorganizmaların büyük kısmının yararlanabileceği şekilde dönüşümü **üreaz** **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzimi tarafından gerçekleştirilir:



Oluşan son ürün amonyak **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olup toprak çözeltisinde amonyum **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** iyonlarına çevrilir ve daha sonra kemolitotrofik bakteriler tarafından nitrata dönüştürülür.

Toprak organik maddesi ile birlik oluşturan enzimlerin, enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** substrat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** interaksiyonunun maksimum hızı (V<sub>maks.</sub>) ve enzimin substrat için ilgisi (afinite) (Km-Michaelis katsayısı) değişir.

## 6.2. Topraktaki Enzimatik Reaksiyonların Önemi ve Verimliliğe Etkileri

Pekçok sayıda bitkisel ve hayvansal canlıları barındıran toprak, miktarları değişik olmakla birlikte, birçok ölü biyolojik maddeleri de ihtiva eder. Toprak mikroorganizmaları kendileri için lüzumlu besin maddelerini çevrelerindeki biyolojik maddelerden sağlamak zorundadırlar. Mikroorganizmaların en önemli faaliyetlerinden biri organik maddenin mineralizasyonu, yani kompleks organik maddeleri basit anorganik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bileşiklere veya besin iyonlarına kadar parçalanmasıdır. Toprağa düşen bitkisel ve hayvansal artıklardaki besin elementleri yüksek polimer **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bileşikler halinde kaldıkları sürece, yüksek bitkiler ve mikroorganizmalar bunlardan doğrudan doğruya yararlanamazlar. Topraktaki organik maddelerin çoğu; örneğin lignin **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, proteinler, protein **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** karakterinde olmayan azotlu bileşikler, pektin **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** maddeleri, selüloz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve diğer polisakkaritler mikroorganizmaların doğrudan doğruya adsorbe edemeyecekleri kadar büyük moleküllü bileşiklerdir. Mikroorganizmaların toprakta bulunan büyük moleküllü organik maddelerden faydalanabilmeleri için, enzimlerini salarak bu bileşikleri, adsorbe edebilecekleri büyüklükte basit bileşiklere parçalamaları gereklidir. Bu nedenle, şimdiye kadar tanınmış enzimlerin hemen hepsi toprakta bulunmaktadır.

Topraktaki enzimlerin çok büyük kısmı, canlı toprak mikroorganizmalarının besin maddelerini parçalamak amacıyla dışarıya saldıkları ekto-enzimlerle, mikroorganizmaların ölümünden sonra otoliz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ile kısmen veya tamamen serbest hale gelerek toprağa karışmış enzimlerdir. Bu enzimler toprağın anorganik**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve organik kolloidleri, örneğin killer ve humin maddeleri tarafından adsorbe edilirler. Adsorbe edilmiş enzimler, dış etkilere karşı diğer enzimlerden daha dayanıklıdır. Aktivitelerini uzun süre koruyabilirler. Böylece enzimlerin etkileriyle, çoğu bitkisel olan topraktaki organik artıklar bir seri enzimatik reaksiyondan sonra küçük moleküllü basit bileşiklere parçalanırlar. Örneğin karbohidraz enzimleri**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** selüloz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, nişasta**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve benzeri polisakkaritleri, disakkaritlere ve nihayet monosakkaritlere kadar parçalarlar. Proteazlar,**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** proteinli maddeleri polipeptid**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, dipeptid, oligopeptid ve nihayet amino asitlerine kadar hidroliz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ederler. Pektin parçalayıcı enzimler de pektin**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** maddelerini basit ürünlere kadar ayrıştırırlar.

Fosfataz, lipaz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, sülfataz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, tannaz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** gibi esteraz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** grubuna dahil enzimler, nükleik asitlerini ve diğer fosfat esterlerini fosfat anyonlarına kadar hidroliz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ederler. Bu parçalanma ürünleri desmolaz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** gruplarının etkisiyle, oksidasyon**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, redüksiyon, hidrogenasyon**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, karboksilasyon**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve nitrifikasyon**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** gibi çok karışık reaksiyonlardan sonra amonyum**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, nitrat**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, fosfat, sülfat**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, kalsiyum, potasyum, sodyum iyonları ile diğer bazı iz elementlerin iyonu serbest hale gelir. Bu reaksiyonlar sonucu, gerek küçük kapalı moleküller haline ve gerekse iyonlar haline çevrilmiş parçalanma ürünlerinin bir kısmı mikroorganizmaya yem olur. Büyük kısmından bitkiler besin maddesi olarak istifade ederler ve bir kısmı da kendi aralarında gene enzimlerin etkileriyle çok çeşitli reaksiyonlara girerek daha büyük moleküllü ve daha dayanıklı humin maddelerine dönüşürler. Ortam şartlarına göre, mikroorganizmalar ve bitkiler bir senede bu maddelerin yaklaşık % 2 ile 3 ünden yararlanırlar.

Bu açıklamalardan anlaşılacağı gibi toprak mikroorganizması, toprak organik maddelerinin ve son ürünlerin tek tek incelenmesi, toprakta cerayan eden biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizma faaliyetleri hakkında bilgi verebilir. Fakat son ürünlerin tek tek incelenmesi çok güç olduğu gibi, bulunan değerler de o andaki ortam şartlarına örneğin; nem, sıcaklık, maddelerin ayrışma kabiliyetleri ve ayrışabilen maddelerin miktarlarına göre değiştiğinden, çeşitli toprakların ortalama biyolojik faaliyetlerini birbiriyle karşılaştırma yapabilmek için ekolojik şartlara göre değişmeyen fakat toprağa sıkı sıkıya bağlı olan faaliyetleri ölçmek gerekir. Bu sebeple toprak mikrobiyolojisi ve enzimolojisi alanında çalışan araştırmacılar çeşitli toprakların biyolojik faaliyetlerini birbiriyle mukayese edebilmek ve bunlar hakkında bilgi edinebilmek için çeşitli enzimlerin aktivitelerinin tayininde görüş birliğindedirler.

Bitki artıklarından toprağa geçen enzimler ortam şartlarına karşı dayanıksız olduklarından hemen parçalanarak aktivitelerini kaybetmektedirler. Bu sebeple topraktaki bitkisel enzimlerin herhangi bir nedenle miktarlarının artması, toprak enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesi üzerine önemli bir etki yapmaktadır.

Franzel'in yaptığı araştırmalara göre de yüksek bitki kökleri enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** salgılamamakta veya çok az salgılamaktadır. Topraktaki aktif enzimlerin kökeninin mikrobiyal olduğu kabul edilebilir.

Hoffmann ve arkadaşlarının yapmış oldukları çeşitli araştırmalara göre toprak tarafından adsorbe edilmiş enzimler, enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** zehirlerine ve ortam şartlarına karşı serbest enzimlerden daha dayanıklıdır. Toprak örnekleri normal oda şartlarında kurutulurken mikroorganizmaların vegetatif formlarının büyük bir kısmı ölürse de aktivite azalmamakta veya ihmal edilebilecek kadar azalmaktadır. Toprakta aktiviteleri ölçülen enzimlerin büyük kısmı toprak tarafından daha önceden adsorbe edilmiş enzimler olduğundan, toprakların enzim aktivitelerini her mevsimde tayin etmek mümkün olmaktadır.

Toprak örneğinde yaşayan hücrelerin az veya çok bulunması da aktivite üzerine mühim bir etki yapmamaktadır. Ancak, çevre şartları zirai işlemler ve mevsimlik değişimler mikroflora **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** üzerine etki yaptıklarından, mukayeseli araştırmalarda toprak örneklerinin vegetasyon devresi sonunda veya başlangıcında alınmaları daha uygun görülmektedir.

Her kültür toprağında, o toprağa göre bir enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** seviyesi vardır. Enzimlerin miktar ve çeşitleri toprakta kalan hasat artıklarının mahiyet ve miktarları ile verilen organik ve anorganik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** gübrelerin çeşit ve miktarına bağlıdır. Toprak pH'sının düşmesi, uygun olmayan tarımsal işlemlerin yapılması seviyelerini düşürdükleri anlaşılmıştır.

### 6. 3. Toprakta Enzim Tayininde Prensipler

Topraklarda bulunan enzimlerin büyük bir kısmı, toprak kolloidlerince kuvvetle adsorbe edilmiş şekilde bulunduğu için, izole edilmeleri çok zordur. Fakat toprakların enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktiviteleri yönünden incelenmelerinde ve tayinlerinde, izole edilmeleri gerekmektedir.

Enzimler, toprakta birikebildiğinden, toprak enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktiviteleri yüksek miktarlar göstermekte, bu nedenle enzim bakımından zengin örnekler elde edilmesine ihtiyaç kalmadan, hava kuru toprak örnekleri direkt olarak enzim aktivitelerinin analizleri için kullanılabilir. Fakat bunun yanında son yapılan çalışmalara göre, enzim aktivitelerinin toprak örnekleri alınır alınmaz bekletilmeden yapılmasında daha doğru sonuçlar alınacağı literatürde belirtilmektedir.

Topraktaki enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesinin dayandığı prensip, belirli bir enzim miktarının tayini olmayıp, o enzim çeşidinin göstermiş olduğu aktivitenin ölçülmesi yoluyla, enzim miktarları hakkında dolaylı bir bilgi edinebilmesine dayanmaktadır. Çeşitli toprakların enzim aktivitelerini tayin ve birbiri ile kıyaslayabilmek için toprak örneklerinin aynı şartlarda analiz edilmeleri gerekmektedir. Analiz;

- a. Hidrolitik parçalanma ürününü ihtiva eden toprak ekstraktının elde edilmesi,
  - b. Bu ekstraktaki parçalanma ürününün titrimetrik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** veya kolorimetrik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** tayini olmak üzere iki safhada gerçekleştirilmektedir. Analiz esnasında tayinden önce şu işlemlerin yapılması gerekmektedir.
1. Toprak örneğinde bulunan mikroorganizmaların, inkübasyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** süresince faaliyetlerini önlemek, yani sterilizasyonu sağlamak için örnekler çeşitli usullerle sterilize edilirler. Örneğin toluol **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, su buharı ve gama ışınları, bu nedenle kullanılmaktadır. Takip etmiş olduğumuz metodlar bu işlem için toluol'ü öngörmekte olduğundan örnekler toluol ile doyurularak belli bir müddet bekletilir. Toluol ile doyurulan örneklerde, kuluçka veya inkübasyon süresi içinde, hidrolitik parçalanma **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** reaksiyonları normal oluşmakta ve substrat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** başka

reaksiyonlar için sarfedilmemektedir. Doksanaltı saate kadar devam eden kuluçka süresi içinde -toluolu ortamda-parçalanma ürünleriyle, parçalanmamış substratta bir değişme veya azalma olmamaktadır.

2. Toluol ile sterilize edilen toprak örneklerine, hangi enzimin aktivitesi tayin edilmek isteniyorsa, o enzimin substratının belli konsantrasyonlu sulu çözeltisinden belli bir hacmi ilave edilir.
3. Her enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** çeşidinin kendine özgü bir optimum pH'sı vardır. Bunu sağlamak amacı ile toprak örneğine enzimin optimum pH'sına uygun bir tampon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** çözeltiden belli bir hacim ilave edilerek kuluçka süresi içinde ortam pH'sının sabit tutulması sağlanır. Toprak, toprakta bulunan bazı maddeler, killer ve organik kolloidler tarafından kuvvetle tamponlanmış olduğundan, toprak araştırmalarında kullanılan tamponların konsantrasyonları, diğer biyolojik materyalde kullanılan tamponlardan daha yüksek yapılır. Genellikle 1 veya 2 molarlık tampon çözeltiler kullanılır.
4. Sırasıyla bu işlemler uygulanan toprak örneği, inkübatörde 37°C' de belli bir müddet tutulur. Bu kuluçka süresince enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, substratını hidrolitik olarak parçalar ve ölçülebilecek kadar parçalanma ürünü oluşur.

Substrat molekülünden ayrılan parçalanma ürünü, suda çözündüğü için toprak çözeltisine geçer. Toprak çözeltisi süzülerek toplandıktan sonra elde edilen filtrattan belli hacimler alınarak kolorimetrik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** veya titrimetrik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olarak aktivite tayini yapılır. Aynı şartlar altında, substratsız toprakla bir kör deney ve topraksız, substratlı bir kontrol deneyi, diğer hata kaynaklarını ortadan kaldırmak amacı ile yapılır.

#### 6.4. Toprakların Enzim Aktivitelerinin Değerlendirilmeleri

Genellikle, 100 g toprakta bulunan enzimin substratından hidroliz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** etmiş olduğu 1 mg madde bir aktivite birimine eşit kabul edilmektedir.

Örnek olarak 100 g toprakta bulunan üreaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzimi, toprağa substrat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olarak ilave edilen üreden 5 mg parçalanmış ise, o toprağın üreaz aktivite sayısı 5 tir.

Hoffman ve arkadaşları, toprakların enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** seviyelerini, aktivite sayılarını kıstas olarak düşük, normal ve yüksek terimleri ile ifade etmektedirler.

Toprakların enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** seviyelerinin belli sayılar arasında sınırlandırılmaları, toprakta enzimlerin aktivitelerine tesir eden faktörlerin çeşitli olmasından ileri gelmektedir.

Yarayışlı fosfor miktarı ile toprak reaksiyonu **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, diğer faktörler yanında, fosfataz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesine büyük ölçüde etki yapmaktadır. Bu sebeple bir toprağın fosfataz enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesi bakımından zenginlik veya fakirliği diğer enzimlerde olduğu gibi belli aktivite sayılarıyla ifade edilmemektedir. Herhangi bir toprakta laktat çözeltisinde çözünebilen fosfat miktarı arttıkça o toprağın fosfataz aktivitesi düşmektedir.

#### 6.5. Enzim Analizleri İçin Toprak Örneklerinin Alınmasında Dikkat Edilecek Hususlar

Topraktaki mikroorganizmaların toprağa dağılış şekilleri bilinmektedir. Bunlar bilhassa toprağın yüzey kısmında bulunurlar. Hidrolitik enzimler, mikroorganizmaların salgıları, kısmen de bunların ölümleri ile serbest hale geçip toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilmiş olduklarından, toprağın üst kısımlarında daha fazla bulunurlar.

Tarla ve bahçe topraklarında enzimler daha çok toprağın işlenmiş üst kısımlarında bulunmaktadır. İşlenmemiş kısımlarda enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** miktarı pek azdır ve toprağın derinliğine doğru bu miktar kuvvetle düşer. Bir metre derinlikte hemen hemen enzim faaliyeti yoktur.

Çayır ve mera topraklarında enzimler en çok 5-7 cm derinlikte bulunur. Kültür topraklarından enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** analizleri için örnekler alınırken bu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

## 6.6. Enzimler Konusunda Çeşitli Ülkelerde Yapılan Araştırmalar

Topraklarda bulunan enzimlerin izolasyonundaki güçlükler, toprakta birçok kimyasal ve enzimatik reaksiyonun yanyana yürümesi, toprak enzimolojisi konusunda yapılan çalışma ve ilerlemelerin yavaş yürümesine sebep olmuştur. Ayrıca teknik yetersizlikler de bu ağır gelişmede önemli ölçüde etkili olmuştur.

Çeşitli ülkelerde enzimoloji konusunda yapılan çalışmalar enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesini etkileyen çeşitli faktörlerle, değişik toprak tiplerindeki aktivite seviyesinin tesbitini kapsamaktadır.

Daha öncede bilindiği gibi enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktiviteleri toprak reaksiyonu **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, verilen anorganik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve organik gübrelerin bileşim ve miktarı, toprak işlenmesi ve münavebe şekli gibi özelliklerin etkisindedir.

Toprak enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesinin kantitatif **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** tayini metodları üzerine esaslı çalışmalar 1940 yıllarında Condrad ile başlamışsa da en önemli gelişmeler 1952 yıllarından sonra pekçok araştırmacının bu konuya eğilmesi ile sağlanmıştır. Condrad (1940-44) üreaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, Jackman ve Black (1952) fosfatazı incelemiş ve kantitatif tayininde başarılı olmuşlardır.

Bunların yanında birçok araştırmacının çalışması sonucunda Glycero-fosfataz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, amilaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, xylanaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, sakkaraz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, proteinaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, invertaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, asparaginaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, dehidrogenaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, ve katalaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzimlerinin tayin metodları geliştirilmiş ve çalışmalar yapılmıştır.

Dünyada toprak enzimolojisi konusunda yapılan bazı araştırma özetleri aşağıda verilmiştir.

Rus araştırmacılarından Chenderova, podzolik topraklarda çeşitli enzimlerin en fazla aktif oldukları pH aralıklarını tesbit etmiştir. Buna göre üreaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, proteaz, dehidrogenaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, polifenil-oksidad ve katalaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktiviteleri 6.3-7.2 pH arasında; fosfataz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve invertaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitelerinin de 4.2-4.5 pH arasında en aktif durumda olduklarını tesbit etmiştir. Aynı araştırmacı peroksidaz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesinin de 4.5-5.4 pH arasında en aktif durumda olduğunu ve 7.2-7.4 pH larda aktifliklerin çok azaldığını tesbit etmiştir.

Yine Rus araştırmacılarından Chenderova ve Zubet çeşitli topraklarda fosfataz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesini, miktarını araştırmışlar gri orman, karbonat ve çernozyem

topraklarında bu aktivitenin podzolik topraklara nazaran daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Aynı araştırmacılar çok sayıda podzolik toprak örneklerinde belli bir seviyeye kadar fosforlu gübre ilavesinin fosfataz aktivitesini artırdığını, ancak bu artışın suda mevcut fosfor 20 ml P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g toprakta oluncaya kadar görüldüğünü, fosfor miktarının artmasıyla aktivitenin azaldığı, hatta 60-80 mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g toprak durumunda ise tamamen durduğunu tesbit etmişlerdir. Gübrelemenin ve yetiştirilen bitki çeşitlerinin enzimatik aktiviteye olan etkisinin araştırılması için yapılan çalışmanın sonucuna göre toprağa her beş yılda 44.8 ton/ha gübre verilmesi halinde genel olarak bütün enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitelerinde artış sağlandığı tesbit edilmiştir. Ayrıca beş yıl süre ile uygulanan hububat-yonca rotasyonu, buğdayın nadasa rotasyonuna nazaran aktiviteleri daha fazla etkilediği tesbit edilmiştir.

Bazı araştırmacılara göre ana materyalin de toprak biyolojik ve enzimatik aktivitesi üzerine etkisi vardır. Örneğin çernozyem topraklarının ve kalkerli ana materyalden oluşmuş killi-tınlı tekstüre sahip zayıf podzolik toprakların enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktiviteleri, kireçsiz ana materyalden oluşmuş killi-tınlı tekstüre sahip orta derecede podzolik toprakların aktivitesinden daha yüksektir.

Paulson ve Kurtz isimli araştırmacılar, pH'sı 6.1 olan siltli killi ve tınlı tekstürdeki topraklarda üreaz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesini ve buna paralel olarak mikroorganizma popülasyonundaki dalgalanmaların aktiviteye etkisini araştırmışlardır. Üreaz aktivitesi ile mikroorganizma popülasyonunun periyodik gelişiminin paralel olduğunu, üreaz aktivitesi yüksek olan topraklarda bakteri**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** popülasyonunun artmasıyla aktivitenin düşme gösterdiğini tesbit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, toprağa 13 ppm' e kadar üre ilave edildiğinde, mikroorganizmaların fazla miktarda üreaz oluşturduklarını tesbit etmişlerdir.

Arazi işleminin enzim**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** aktivitesine etkisini araştıran Stenina bilhassa pulluk derinliğinde, arazi işlenmesi nedeniyle özellikle üreaz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve proteaz aktivitelerinde artma olduğunu tesbit etmiştir.

Bremner ve Douglas topraklarda, üreaz**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** enzimi faaliyetini önleyici etki yapan çeşitli organik ve anorganik**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bileşikler üzerine çalışmışlar ve organik bileşiklerden di-hydrik fenollerle, quinonların; anorganik bileşiklerden de gümüş ve civa tuzlarının üreaz aktivitesini kısıtlayan en etken maddeler olduklarını tesbit etmişler ve bu maddelerin tayinleri için de metodlar geliştirmişlerdir.

Toprak enzimolojisi konusunda yapılmış değişik araştırmaların tamamını burada vermek mümkün değil, yalnız burada çok kısa özetleri verilmiş araştırmalar bizi çeşitli ulusların çalışmaları hakkında bir miktar fikir sahibi kılmaktadır.