

SERİ
SERIE B

CİLT
TOME XXVI

SAYI
FASCICULE 1 1976

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ
DERGİSİ

REVUE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES FORESTIÈRES
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



EKOSİSTEM KAVRAMI, EKOSİSTEM ANALİZLERİ VE BİR EKOSİSTEM ANALİZİ MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Y a z a n

Prof. Dr. Necmettin ÇEPEL

Giriş

Dünya nüfusunun gittikçe çoğalan bir hızla artışı, doğal kaynaklardan aşırı derecede faydalanma zorunluğunu doğurmuştur. Artan ihtiyaçların, sınırlı olan doğal kaynaklardan karşılanabilmesi ise ancak ileri bir teknoloji ile mümkün olmaktadır. Bu nedendir ki özellikle son çeyrek yüzyılda teknolojik ve buna bağlı olarak ekonomik gelişim doğa dengesine bağlı kalmaktan ayrılarak tehlikeli denebilecek boyutlara ulaştı. Sadece faydalanma prensibini ön plânda tutan böyle bir gelişim süreci içinde insan yeteneği çevreyi tahrip eden bir faktör haline geldi; doğa dengesi zayıfladı; hatta birçok yerlerde bu denge bozuldu. Buna karşılık çevreyi koruma bilgisi, anlayışı ve yeteneği önemli derecede gelişmeden kaldı. Bu durum insan yaşamında tersine işleyen bir çark yarattı. Zira ihtiyaçlarımızın giderilmesi için kitle halinde üretim yapan fabrikaların sayısı son derece arttı, havanın oksijen dengesini bozacak kadar büyük ve hızlı giden dev uçaklar yapıldı, ayrışmadan kalan çözümlü sentetik maddeler üretildi. Bunlar ve bunlara benzer ileri teknoloji ürünleri, insanın en önemli ihtiyaçları olan hava, su ve mekân gibi doğal kaynakları sınırlamaya, hatta yok etmeye başladı.

Teknolojinin baş döndürücü hızla gelişiminin böylesine tehlikeli sonuçlar doğurabileceği belki peşinen kestirilemezdi. Fakat canlılar için son derece tehlikeli olan bu zararlı sonuçlar ortaya çıktıktan sonra bile bu yönde etkili ve enerjik önlemler alınmadığını veya alınmadığını görmekteyiz. Halbuki çok eski devirlerde uygarlık düzeyi bu kadar yüksek olmamasına rağmen benzer olaylar için hayret edilecek derecede sert

önlemler alınmıştır. Örneğin 1306 yılında kentte kömür yakan bir Londra'lı yargılanarak bu eyleminden dolayı ölüm cezasına çarptırılmıştır (Cole, 1970). Fakat bilindiği üzere daha sonraki yüzyıllarda kömür «siyah elmas» olarak nitelendirilmiş ve uygarlığın simgesi olmuştur. Bu yöndeki gelişim bu noktada kalmamış 20. yüzyılda kömürün yerini petrol almış ve bu yolla teknolojiye büyük aşamalar olmuştur. Fakat çok geçmeden petrolle işleyen makineler ve çeşitli kimya endüstrisi, tüm canlılar için zararlı olan çok sayıda yeni maddeleri etrafa yaymaya başlamıştır. Örneğin A.B.D. de yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre biyolojik artıklar ve diğer kirletici maddeler nedeni ile bu ülkede tahminen yarım milyon zararlı madde ile karşı karşıya bulunulmakta ve bunlara yılda 400 - 500 yeni kimyasal madde eklenmektedir. Bunların en küçük parçasının bile yeryüzünün yıllık oksijeninin % 70 ini sağlayan *deniz diatomeleri* üzerinde zehir etkisi yapıp yapmadığı henüz iyice araştırılmamıştır. Kaldı ki atmosferimizde de 3000 den fazla yabancı kimyasal madde bulunduğu saptanmıştır. Bacalar ve egzozlardan çıkan karbon, kükürt ve azot oksitlere ait çeşitli zararlı gazlardan başka etil benzin havaya bol miktarda kurşun karışmasına sebep olmaktadır. Kuzey kutbu çevresinde karın, 1940 yılına oranla %300 fazla kurşun ihtiva ettiğinin saptanması çevre kirlenme hızı hakkında genel bir fikir vermektedir. Bu ve buna benzer bilgiler, dünyamızın oksijen dengesinin bozulduğunu göstermektedir (Cole, 1970). Aynı kaynaktan ifade edildiği gibi eğer kirlenme faturaları bunları yapanlara ödetilse idi havamızın temizliğinde şaşılacak derecede iyileşmeler görebilirdik.

Fakat şimdiye kadar harcanan uğraşılardan elde edilen sonuçlara göre bu sorunun «fatura ödetme» ile değil, bilimsel yöntemlerle çözümlenebileceği anlaşılmış bulunmaktadır. Bunun için de hem sağlığımızı, hem de yaşamamızı sürdürürebilmemiz için doğal kaynakların geliştirilmesinde ana ekolojik problemin ne olduğu ve bu problemin nasıl çözümlenebileceği üzerine eğilinmiş bulunmakta ve geniş kapsamlı çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin Uluslararası Biyoloji Programı Örgütü doğal sistemlerin daha iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için büyük bir çaba harcamaktadır.

Doğal kaynakların geliştirilmesinde ana ekolojik problem, doğal ekosistemlerin karakteristiklerinin kontrollü ekosistemlere nasıl dönüştürülebileceğidir. Diğer bir ifade ile doğal dengeyi bozmadan dünya üzerindeki ekosistemlerden en yüksek derecede fayda ve verim nasıl sağlanabilir? Bunun temelinde «doğanın bizim kurallarımıza göre değil, kendi kurallarına uyan sistemlere bağlı olduğumuz» gerçeği yatmaktadır. Bu nedenle bu sorunun cevaplandırılabilmesi için canlı toplumlara ait

bilgilerin sistemleştirilmesi ve toplumların cansız çevre ile olan ilişkilerinin çok yönlü olarak ortaya konması gerektiği kanaatine varılmıştır. Bu da ekosistem düşüncesini geliştirmiştir. Gerçekten, bu problemin çözümü için ekosistem yapısının, özellikle bu sistem içindeki kompleks ilişkilerin kavranması ilk basamağı oluşturmaktadır.

Öyleyse ekosistem kavramının ve ekosistemlere ait özelliklerin öncelikle açıklanması gerekir.

Ekosistem kavramı

«Ekosistem» deyiminin ortaya çıkışı XX. yüzyılın başlarına rastlamaktadır. 1935 yılında Tansley, «*Ekosistem*», yine aynı tarihlerde Şukachev «*Biogeocoenose*» deyimini kullandıkları zaman, ilgililer bunun üzerinde durmadılar ve bu konu pek işlenmedi (Tansley, 1935; MacLennan, 1964). Fakat bundan bir süre sonra bu deyim birçok bilginlerin araştırma ve inceleme konuları içine alındı ve özellikle son yıllarda bu konuda birçok yayınlar yapıldı (Bowen, 1970); Clarke, 1954; Coaldrake, 1961; Ellenberg, 1971; Reichle, 1970; Gigon, 1974; Odum, 1969; Ovington, 1960; Patten, 1959; MacLennan, 1964; Rehfuess, 1974 ve 1975). Bu yayınların ve şimdiye kadar bu konuda sahip olabildiğimiz diğer kaynaklardan elde edilen bilgilerin ışığı altında «*ekosistem*» kavramı açıklanmaya çalışılacaktır :

Biyolojik görüş açısından bakıldığında evrenin başlıca iki ana varlıktan oluştuğu anlaşılır. Canlılar (*Biocoen*)¹ ve bunların içinde bulunduğu cansız çevre (*Ecotope*)². Bu iki varlık, aralarında son derece karışık fakat sistemli ilişkiler kurarak «*Biospher*» dediğimiz yaşayan organizmalar dünyasını meydana getirmektedirler. O halde biospher, içinde hayatın bulunduğu, dünya dış kabuğunun ince bir kısmına verilen isimdir. Dünya yüzeyindeki kayalar, toprak, göl, deniz, nehirler ve atmosferin alt tabakaları ile tüm canlı varlıklar bir araya gelerek biospheri oluşturmaktadır. İşte ekosistemler biospherin herhangi bir parçasını veya bütünü ifade etmek için ortaya atılmış bir deyim olarak kabul edilmektedir. Gerçi tüm evren başı başına tek bir ekosistem olarak kabul edilebilirse de fonksiyonel olarak evrenin sayısız ünitelerinin her biri birer ekosistem olarak düşünülmektedir. Bunun nedeni de kavrama kolaylığını sağlama, doğayı sistemler modeli içinde inceleyebilmektedir. Zira doğada yaşayan varlıklar ile cansız çevre arasındaki ilişkiler o kadar

1) Biocoen : İnsan, hayvan ve bitki gibi çeşitli canlılara ait toplumlar

2) Ecotope : Toprak, su, hava gibi ortamlar (cansız çevre).

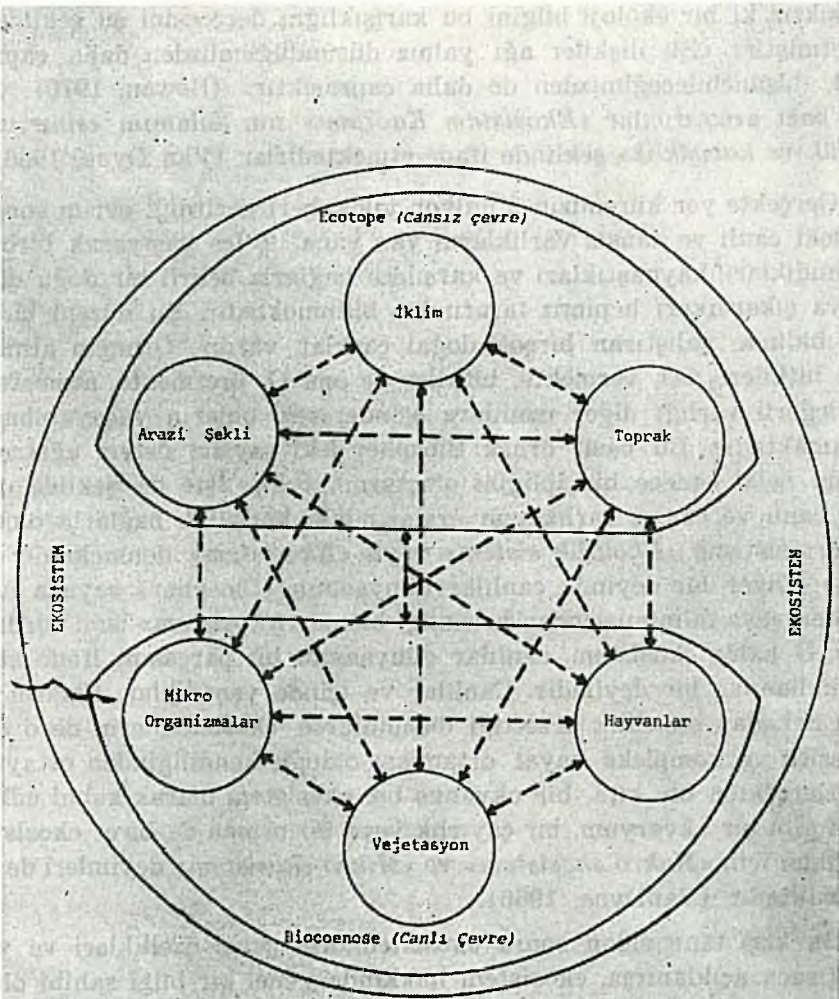
karışıktır ki bir ekoloji bilgini bu karışıklığın derecesini şu şekilde ifade etmiştir: «Bu ilişkiler ağı yalnız düşündüğümüzden daha çapraşık değil, düşünebileceğimizden de daha çapraşıktır» (Bowen, 1970). Onun için bazı araştırmacılar «*Ekosistem Kavramı*»nın anlamını «*sınırsız büyüklük ve karışıklık*» şeklinde ifade etmektedirler (Van Dyne, 1966).

Gerçekte yer küremizin 3 milyon yıldanberi geçirdiği evrim sonunda içindeki canlı ve cansız varlıkların yan yana, iç içe yaşayarak birbirine bağlandıkları, kaynaştıkları ve karşılıklı bağlarla belirli bir doğa düzeni ortaya çıkardıkları hepimiz tarafından bilinmektedir. Bu düzeni bir sistem halinde çalıştıran birçok doğal çarklar vardır. Örneğin atmosfer yeşil bitkilere CO₂ vermekte, bitkiler de ona O₂ üretmekte, atmosfer de bu değerli varlığı diğer canlılara göndererek onların yaşayabilmesini sağlamaktadır. Bu basit örnek Biospher'deki sayısız sistem ağlarından birinin belki sadece bir ipliğini oluşturmaktadır. İşte bu şekilde doğadaki canlı ve cansız varlıkların aralarındaki karşılıklı bağlarla oluşturdukları sisteme «*Ekolojik sistem*» veya «*Ekosistem*» denmektedir (Şekil 1). Diğer bir deyimle canlılar dünyasının (Biospher) sayısız ünitelerinden veya dilinimlerinden herhangi birine «*Ekosistem*» ismi verilmektedir. O halde ekosistem, canlılar dünyasının bir parçasını ifade etmek için kullanılan bir deyimdir. Canlılar ve içinde yaşadıkları fiziksel çevrenin ne kadar çeşitlilik arzettiği düşünülürse, ekosistemlerin de o derece çeşitli ve kompleks hayat ortamları olduğu kendiliğinden ortaya çıkar. Gerçekten bir kıta, bir okyanus bir ekosistem olarak kabul edilebileceği gibi bir akvaryum, bir çayırılık veya bir orman da birer ekosistemdir. Onun için «*Makro ekosistem*» ve «*Mikro ekosistem*» deyimleri de kullanılmaktadır (VanDyane, 1966).

Bu kısa tanıtımdan sonra ekosistemlerin genel özellikleri ve yapıları kısaca açıklanırsa, ekosistem hakkında genel bir bilgi sahibi olunabilir.

Ekosistemlerin genel özellikleri ve yapıları

1. Ekosistemlerin dinamiğini doğum, gelişim, ölüm ve ayrışma olayları ile madde ve enerji akımı simgeler. Doğum, gelişim ve ölüm canlılara ait doğa yasasıdır. Enerji akımı ise ekosistem içindeki bütün canlıların sahip olduğu «*Biomass*» denen özel bir hayat potansiyelindeki enerji rezervinden ileri gelmektedir. Madde akımı da mineralizasyon, su ve besin maddesi akımı, yaprak dökümü ile organik ve inorganik maddelerin transferi gibi olaylarla meydana gelir. Onun içindir ki ekosistemler değişebilen bir yapı ve organizasyona sahiptir.



Şekil 1

Ekosistemi oluşturan ana öğeler ve aralarındaki ilişkiler

(J. M. MacLennan, 1964 ten değiştirilerek).

2. Ekosistemlerin sınırları doğada sabit değildir, onun için açık sistemlerdir. Hava hareketleri ile atmosferin geniş mekânlarda hareket edişi, akarsuların birçok ekosistemler içinden akarak geçişi, ekosistemlerin kapalı olmadığını gösterir.

3. Ekosistemleri oluşturan başlıca dört primer varlık vardır;

a) *Cansız varlıklar* : İnorganik maddeler ile organik artıklar.

b) *Primer üreticiler* : Genellikle yeşil bitkiler, Bunlar fotosentez ile canlılar dünyası için son derece önemli organik maddeler meydana getirirler.

c) *Tüketiciler* : Bitkisel ve hayvansal maddeleri yiyenler (Etoburlar, otoburlar) ve her iki maddeyi de yiyenler.

d) *Ayrıştırıcılar* : Bunlar, organik maddeleri ayrıştıran bakteri ve mantar gibi heterotroph canlılardır.

4. Bir ekosistem, evrendeki genel hayat ortamının bir dilinimini teşkil etmekte olup, diğer ekosistemlerle sınırlanmıştır ve onlarla zincirleme bağıntıları vardır.

5. Ekosistemler zamanla değişir. Bu değişim iki şekilde olur :

a) Ekosistemler zaman faktörünün etkisi altında değişerek pionir durumdan süksessionla olgun ekosistem (klimax) haline dönüşür. Bu iki ekosistem arasında esash ayrıcalıklar vardır. Birincisinde özellikle makro iklim, anataşı ve organizmaların baskın etkisi vardır. Olgun ekosistemde ise pedolojik özelliklerin, canlılar toplumunun ve bunların yarattığı mikro ikliminin etkileri ekosistemde daha baskın olmaktadır.

b) Ekosistemlerde ikinci şekilde meydana gelen değişim: Diğer ekosistemlere ait dış çevreden gelen etkiler, belirli bir ekosisteme ait faktörler tarafından etkisiz hale getirilebilirse, o ekosistem varlığını korur, aksi takdirde sistem bozulur, onun yerini başka bir sistem alır ki, buradaki ilişkiler, dengeler başka bir şekildedir. Bunlarda insan etkisi eğer mense bu ekosistemlere antropogen ekosistemler denmektedir. Örneğin bizdeki Haliç bir Antropojen ekosistem haline gelmiştir. Ülkemizdeki steplerin bir kısmının da atropojen step ekosistemleri olduğu bilinen bir gerçektir (Uslu, 1959).

6. Ekosistemler karakteristikleri bakımından çok çeşitlidirler.

Dünyamızda 1 cm² sinde 0.084 gram ağırlığında mercan ve alg bulunan bir ekosistemden binlerce kilometrekarelik alana yayılmış bulunan okyanus ekosistemlerine kadar çok çeşitli ekosistemler vardır (Odum, 1960, 1969). Onun için, aynen botanik ve zooloji Bilim Dallarında olduğu gibi kavrama kolaylığı bakımından «*ekosistem bilimi*» için de siste-

matik çalışmalara başlanmıştır. Bu konuda henüz kesin ve herkes tarafından kabul edilecek detaylı bir sistematik sınıflandırma ortaya çıkarılamamakla beraber kavrama kolaylığını sağlayabilecek esaslar ortaya konmaya çalışılmaktadır. Şimdiye kadar bu konuda yapılan çalışmalarla ortaya konan sınıflandırma esasları şu şekilde özetlenebilir :

Ekosistemlerin içinde toplandığı en büyük birlik «*Biospher*» olarak isimlendirilmektedir. Biospher, bundan evvelde açıklandığı gibi, içinde hayatın bulunduğu dünya dış kabuğunun ince bir kısmına verilen isimdir ki canlılar ile su, hava ve toprak gibi öğelerden oluşur. O halde dünyanın hayat ortamı niteliğinde olan kısmına «*Biospher*» denmektedir.

Biospher, seri halinde bir takım alt ünitelere ayrılır ki bunların her birine ekosistem denir. Ekosistemler de «*Aquatic Ekosistemler*» (sulara ait ekosistemler) ve «*Terrestrial Ekosistemler*» (Karasal Ekosistemler) olmak üzere iki büyük gruba ayrılır. *Aquatic Ekosistemler*, sulardaki hayat ortamlarına ait ekosistem üniteleridir. Tatlı su, tuzlu su, akarsu, göl ekosistemleri gibi birçok alt ünitelere ayrılmaktadırlar. *Terrestrial ekosistemler* (Karasal Ekosistemler) karasal arazilerdeki hayat ortamlarına ait üniteleri kapsar. Bunlar da kendi aralarında «*Biome*» olarak isimlendirilen alt ünitelere ayrılırlar.

Biome : Genel olarak ekolojide «*Biome*» deyimi, yeryüzünün geniş alanlarına yayılmış bitki ve hayvanların doğal olarak gruplandırılmasını ifade etmektedir. Her biome özel bir iklim ve vejetasyon tipi ve hayvan hayatı ile karakterize edilmiştir. Onun içindir ki dünya yüzünde 9 büyük Biome kabul edilmiştir: *Tundura, kuzey bölgelerin iğne yapraklı ormanları, ılıman bölgelerin geniş yapraklı ormanları, daimi yeşil ormanlar ılıman bölgelerin çayırları, savanlar, çöller, chaparral, tropikal yağmur ormanları*. Bu Biome'lerin her birinin gerçekten dünya yüzündeki bir iklim zonunu temsil ettiği görülmektedir. Onun için biome-lerin sınıflandırılması için ölçü olarak alınan faktör dünya yüzündeki büyük iklim zonları ve dolayısı ile dominant olan vejetasyon tipleridir. Bazıları sulara ait ekosistemleri de biome olarak kabul etmekte ise de bu genel sınıflama prensiplerine uymamaktadır. Yalnız Avrupalı ekolojistler «*Biome*» için «*Büyük hayat zonları*» (Major Life Zones) deyimini kullanmaktadır, yani bunların zonal ve rejijonal bitki kuşakları olduğu kabul edilmektedir.

Community (topluluk) : Ekosistem sınıflandırılmasında kullanılan ünite isimlerinden birisi de «*Communtiy*» dir. Bu deyim ekolojide belirli bir ortamda bulunan hayvan ve bitki popülasyonlarının hepsini birden ifade etmek için kullanılan bir deyimdir, Ekosistem sınıflandırmasında

ise daha çok belirli bir biome'nin mevki, tür, v.b. karakteristikler bakımından farklı olanları «Community» olarak isimlendirilmekte ve belirli bir biome'nin alt ünitesi olarak kabul edilmektedir. Örneğin «Tundura» Biome'si, «Arktik tundura» ve «Alpin tundura» olmak üzere iki «Community» e ayrılmaktadır.

Ecoton : Bazan bir topluluktan veya bir biome'den öbürüne geçiş kesin olmamakta, arada bir geçit zonu bulunmaktadır. İşte topluluklar veya biome'ler arasındaki bu geçiş zonlarına «Ecoton» denmektedir. Örneğin orman ile çayır arasında bulunan çalılık, kuzey Alaska'daki tundura ile Kanada'daki iğne yapraklı orman arasındaki tundura - iğne yapraklı orman topluluğu «ecoton» için tipik birer örnek teşkil etmektedirler.

Kısaca açıklanmaya çalışılan «Ekosistem» kavramı Rusya dışındaki birçok ülkelerde bu şekilde anlaşılmaktadır (Bowen, 1970; Clarke, 1954; Gigon, 1975; Rehfuess, 1974 ve 1975; Reichle, 1970; Schuster, 1975, Van Dyne, 1966).

Fakat Rusya'da bu hususta gerek deyim gerekse anlam bakımından farklı bir düşünüş mevcuttur, şöyle ki :

Batı Avrupa ve Amerika'da kullanılan «*Ekosistem*» yerine Sovyetler Birliği'nde «*Biogeocoenose*» deymi kullanılmaktadır. Bu deyimler kavram olarak birbirine çok yakın oldukları halde tam anlamı ile birbirinin aynısı değildir. Zira MacLennan (1964) e göre ayrıntılarındaki farklar dışında «*ekosistem*» deymi birçok bilim adamları tarafından değişik anlamda kullanılmaktadır. Bir karınca yuvası ve orman popülasyonundan yer kürenin tüm biospherine kadar her doğa ünitesi veya bazan üniteler topluluğu «*Ekosistem*» olarak anlaşılmaktadır. «*Biogeocoenose*» deymi ise daha kesin bir anlam taşır ve daha çok *bir tek sistemin ifadesi* olarak anlaşılmaktadır. Zira «*Bio*» organik dünyayı, «*Geo*» ise içinde yaşanan cansız çevreyi ifade ettiğine göre bunlar tek bir birlik (Coenose) olarak birleştirilebilir. Onun için «*Biogeocoenose*» deymi «*Ekosistem*» e tercih edilmektedir. Bunun dışında Sovyetler Birliği'nde «*Ekoloji*» denince sadece «*Autecology = birey ekolojisi*» anlaşılmaktadır. Onun için «*Ekosistem*» deymi toplum ekolojisini de kapsamamaktadır.

Bu nedenle Sovyetler Birliği'nde «*Ekoloji*» ve «*Biocoenology*» biyolojinin bağımsız, iki ayrı dalı olarak kabul edilmiştir. Onun için de «*Ekosistemler bilimi*» yerine «*Biogeocoenology*» deymi kullanılmaktadır. Bu bilim dalı evvelce de açıklandığı gibi genellikle sistemleri teker teker in-

celemek için ayrı alt dallara ayrılmaktadır. Örneğin Sovyetler Birliği'nde bir «*Orman Ekosistemi Bilimi*» anlamına gelen bir «*Forest Biogeocoenology*» isimli bilim dalı doğmuştur.

Fakat yapılan açıklamalardan anlaşılacağı üzere «*Ekosistem*» ve «*Biogeocoenose*» aşağı yukarı aynı varlıkları ifade etmek için kullanılan ayrı iki deyim olarak gözükmektedir. Nitekim 1958 de Kanada'da yapılan 9. cu Uluslararası Botanik Kongresinde «*Ekosistem*» ile «*Biogeocoenose*» kavramları arasında benzerlik üzerinde birçok araştırmacılar fikir birliğine varmışlardır¹⁾

Özet olarak denilebilir ki her iki deyim de canlılar dünyasının sayısız ünitelerinden herhangi birini ifade etmektedir. Çok çeşitli büyüklükte olabilen bu üniteler, içindeki karşılıklı ilişkiler, etkiler, madde ve enerji akımları ile fonksiyonel bir sistemdir (Şekil 1 ve 2).

Dünya üzerindeki ekonomik değer taşıyan en önemli doğa kaynaklarından biri hiç kuşkusuz, *Orman Ekosistemleridir*. Buraya kadar verilen bilgilerin ışığı altında orman ekosisteminden şunu anlıyoruz: Belirli bir yerde kendini meydana getiren elemanlarının kompozisyonu, karakterleri ve aralarındaki karşılıklı ilişkileri bakımından homogen olan herhangi bir orman parçasıdır. Örneğin bitki örtüsü, hayvan ve mikro organizmalar, mineral maddeler, hidrolojik, pedolojik ve mikroklimatik özellikler ile aralarındaki madde ve enerji akımı bakımından homogen olan orman parçaları birer orman ekosistemi olarak kabul edilebilir. Fakat ayrıntılı tanımlamaya rağmen orman ekosistemlerinin birbirinden ayrılabilmesi için bazı ölçülerin ve bilgilerin daha açık ve seçik olarak belirtilmesi gerekir. Onun içindir ki orman ekosistemlerinin belirlenmesi için ilkin sınırlarının nasıl çizileceği üzerinde durulacaktır. Orman ekosistemlerinin alt ve üst sınırlarının belirlenmesi, yan sınırlarının belirlenmesine kıyasla daha kolaydır.

Üst sınırın belirlenmesi : Orman ekosistemini oluşturan çeşitli faktörler tarafından atmosfer tabakalarının fiziksel ve kimyasal özellikleri belirli bir yüksekliğe kadar kalitatif olarak değiştirilir. İşte bu belirli yükseklikteki atmosfer tabakaları orman ekosisteminin üst sınırını oluşturmaktadır. Örneğin genellikle hayat ortamının üst sınırı olan atmosfer tabakalarının bulunduğu yer orman ekosisteminin de en üst sınırı olarak kabul edilebilir.

1) Journal silva fennica, 1960, No. 105

Alt sınır ise, yine orman ekosistemini oluşturan faktörler tarafından özelliği değiştirilmiş olan Litosfer tabakasının bittiği derinlik olarak kabul edilebilir. Örneğin ana kök yayılış zonu alt sınırı, orman ekosisteminin de alt sınırıdır.

Bu ayırma subjektiflik karışmakta olup kesin ve sabit sınırların geçirilemeyeceği izlenimini uyandırmaktadır. Zira Litosfer veya atmosferin özelliklerinin değiştirilmiş olduğu tabaka nerede biter? Bunu ayırmak kolay değildir. Fakat bilinen birşey varsa farklı ekosistemler farklı düzey boyutlara sahiptirler. Bununla beraber genel olarak denilebilir ki orman ekosisteminin üst sınırı orman ağaçlarının birkaç metre yukarısında, alt sınırı da toprağın 1-2 m derinliğinde kabul edilebilir.

Orman ekosisteminin rejional yayılış alanındaki sınırlarını (yan sınırlarını) belirleme daha güçtür. Bu hususta relief, bir ölçü olarak alınabilirse de her zaman için bu yolla kesin bir sınırlama yapılamamaktadır. Bu hususta çeşitli öneriler ve düşünceler vardır. Bazı araştırmacılara göre orman ekosisteminin sınırlandırılması için homogen bir birliğin ayrılması gerektiği ifade edilmektedir. Bu birlik ağaç cinsi, diğer vejetasyon tabakaları, fauna, mikro organizma toplulukları, iklim, toprak, su koşulları ve madde alış verişi bakımından homogen olmalıdır (Maclean, 1964). Diğer araştırmacılar ise orman ekosistemlerinin ne şekilde sınırlandırılacağı hususunda şu önerilerde bulunmaktadır (Smith, 1970) :

a) Ekosistemin alanı, ekosistem süreçlerinden bir çoğunu ve aralarındaki ilişkileri içerecek derecede geniş olmalıdır. Sınırları ise girdi ve çıktıkların keşiştiği ve çok kolay ölçülebildiği yerden geçmelidir.

b) Ekosistemin yan sınırları, girdi ve çıktıklar arasındaki farkın en yüksek olduğu yerlerden geçmelidir. Örneğin orman - tarla, göl - karasal arazi gibi.

c) Ekosistemin yan sınırları, girdi ve çıktıkların birbirine en çok benzediği alanların etrafından geçmelidir.

Bu önerilere göre ekosistemlerin belirlenmesi konusunda kesin bir bilgi edinilememekte, birtakım karanlık noktalar kalmakta, hatta çelişkiler bulunmaktadır. Girdi ve çıktıkların niteliğinin ve hatta bizzat kendilerinin nasıl saptanacağı hususu ayrı bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Özet olarak denilebilir ki, şimdiye kadar edinebildiğimiz bilgilere göre ekosistemlerin sınırlandırılması hususunda kesin bilgiler elde edile-

bilmesi ve kolay uygulanabilen yöntemlerin bulunabilmesi için daha birçok araştırma ve çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu bilgiler elde edilinceye kadar arazide kolayca belirlenebilecek ağaç türü, arazi şekli ve mikroklima, pedolojik özellikler gibi bazı faktörlere göre homogen olan alanların sınırlandırılması kanaatına göre şimdilik en pratik yol olarak görünmektedir.

Belirlenmiş olan orman ekosistemlerinde araştırmaların nasıl yapılacağı hususu ise aşağıda açıklanmıştır.

Orman Ekosistemlerinin incelenmesi ve Ekosistem Analizleri

Orman ürünlerine karşı olan isteğin gittikçe artması, buna karşılık bu «Yeşil doğa kaynağına» ait alanların azalması, orman ürünlerinin en ince detayına kadar bilinmesi problemini ortaya çıkarmıştır. Zira orman ürünleri çok çeşitli olup değişmekte, bundan başka sadece orman ürünü olarak değil, tüm orman hayatı ve onun cansız çevresi için de son derece önemli fonksiyonlara sahip bulunmaktadır. Ayrıca orman ekosistemi, çok geniş yer kaplayan karasal ekosistemlerin başında gelmektedir. Bunun için de önemli ekonomik aktivitelerin cereyan ettiği bir ortamdır.

Yukarıda kısaca açıklanmaya çalışılan nedenlerle orman ekosisteminin incelenmesi çok eskidenberi öngörülmüştür. Rus Bilim Adamlarından Dokuchaev bu hususta özel bir bilim dalının gereğini ilk olarak ortaya atan bir kimsedir. Bu fikir ancak içinde bulunduğumuz yüzyılda gelişti; Batı Avrupa ve Amerika'da «*Ekosistem Bilimi*», Rusya'da «*Biogeocoenology = Biogeocoenose Bilimi*» nin doğmasına yol açtı. Bu bilimler ile birlikte ekosistemdeki bütün ögelerin (komponent) *karşılıklı etki* ve *ilişkilerinin* araştırılması önem kazandı. Zira ekosistem yapısının temellerinden en önemlisi her ögenin bir diğeri ile ilişkili olmasıdır. Bu ilişkilerin çok taraflı ve çok çapraşık durumda bulunması bu husustaki kanuniyetleri ortaya çıkarabilmek için en yeni bilgilere, en modern fizik, kimya, biyoloji, matematik ve istatistik yöntemlerine sahip olmayı zorunlu kılmaktadır. Gerçekten biosferin en aktif ekosistemlerinden biri olan bitki örtüsü (phytogeosfer) dolayısı ile orman ekosistemi organik maddenin sentez edildiği, yeni maddelerin oluşturulduğu, enerjinin depolandığı bir yerdir. Diğer bir deyimle hayatın biokimyasal reaksiyonlarının cereyan ettiği bir arenadır. Belki dünyanın hiçbir ekosisteminde bu olaylar orman ekosisteminde olduğu kadar karışık ve intensif değildir. Onun içindir ki orman ekosistemlerinin incelenebilmesi için yukarıda

adı geçen bilim dallarına ait bilgilere ve uygulama yöntemlerine sahip olmak gerekmektedir. Son yıllarda yapılan yayınlarda orman ekosisteminin incelenmesi ve araştırılmasının önemi ile güçlükleri üzerinde yazılmış birçok eserler vardır. Örneğin S.S.C.B. de yazılmış bir eserde bu hususta çok geniş bilgi ve binlerce literatür verilmektedir (MacLennan, 1964). Ayrıca «Uluslararası Bioloji Programı (IBP) adı altında çeşitli dallara ait bilim adamları tarafından yürütülen örnek bir «Orman Ekosistem Analizi» araştırmasının yayınlandığı eserde de bu konuda çok geniş bilgiler bulmak olanağı vardır (Reichle, 1970 ; Ellenberg, 1971). Bu çalışmalar incelendiği zaman orman ekosistemi araştırması veya analizi ile ilgili olarak aşağıdaki önemli hususların açıklık kazandığı anlaşılmaktadır :

Ekosistemlerin incelenmesine veya analizine ait çalışmaların ana amacı ekosistemlerin *yapısının* ve *ekosistem sürecinin* anlaşılmasıdır. Ekosistem yapısının anlaşılması demek, ekosistemi meydana getiren öğelerin cins ve karakteristiklerinin belirlenmesi demektir. Ekosistem sürecinden ise ekosistem içinde geçen organik madde üretimi, enerji ve madde akımı ile bunların depolanma ve değişimleri, besin maddesi dolaşımı gibi olayların cereyan şekli anlaşılmaktadır. O halde ekosistemlerin incelenip araştırılmasının esasını ekosistemlerin envanteri ve tanıtımı ile ekosistemin enerji akımı, besin maddesi dolaşımı ve verimliliğinin incelenmesi konuları oluşturmaktadır. Böylece bir orman ekosistemi hakkındaki bilgilerimiz «anatomiden» «fiziyojiye» doğru genişlemiş olmaktadır. Bu açıklamalara göre özet olarak denilebilir ki ekosistem araştırmalarının çözüm getirmek istediği problem, ekosistemlerin yapı ve fonksiyonlarının ayrıntıları ile saptanmasıdır.

Bununla ilgili olarak araştırılması gereken ana konular şu şekilde sıralanabilir :

1. Ekosistemdeki bitki ve hayvan toplumlarının kompozisyonunun incelenmesi sadece cins ve miktar olarak değil, gelişim karakteristiklerinin ayrıntıları ile incelenmesi,
2. Orman ağaçlarının hayat formunun yani ekolojik ve biyolojik özelliklerinin incelenmesi,
3. Toprağın, phytogeospher boyutlarının ve atmosferin iyice incelenmesi,
4. Orman ekosisteminin yapısının, içindeki faktörlerin karşılıklı etkilerinin incelenmesi, bunların komşu ekosistemlerle olan bağıntılarının araştırılması, relief özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir.

Bu açıklamalardan kolayca anlaşılacağı üzere ekosistem araştırmaları çeşitli bilim dalına ait uzmanların birlikte çalışmasını gerektirmektedir. Ayrıca orman ekosisteminin diğer ekosistemere kıyasla çok daha karışık ve kompleks olduğu, onun için orman ekosistem araştırmalarının özel güçlükler arzedeceği de anlaşılmaktadır. Birinci güçlük araştırılacak orman ekosisteminin sınırlandırılmasında ortaya çıkmaktadır. Bu husustaki esaslara evvelce değinilmiştir.

Bir orman ekosisteminin sınırları belirlendikten sonra yapılacak ikinci iş, kendisini meydana getiren faktörlerin önem derecelerinin ortaya çıkarılmasıdır. Bitkiler, hayvanlar cinslerine göre gruplara ayrılabilir, toprak, su ve havanın en önemli bileşenleri ayrılır, çeşitli yollarla yapılan ayırma ve birleştirmelerle ekosistem kendi içinde kavranabilecek bir duruma getirilmeye çalışılır. Şimdiye kadar yapılan araştırmalarla bir ekosistemi oluşturan öğelerin 5 ten 50.000 e kadar değişebileceği ortaya konmuştur.

Yukarıda yapılan açıklamalardan anlaşılacağı üzere orman ekosistemlerinin bu kompleks yapısından dolayı, onları inceleme veya analiz, basit yöntemlerle yapılamamaktadır. Onun için sistem modellerinin geliştirilmesine, matematik işlemler ve istatistik yöntemler yardımı ile bu ilişkiler kompleksinin sınırlarının çözülmesine çalışılmaktadır.

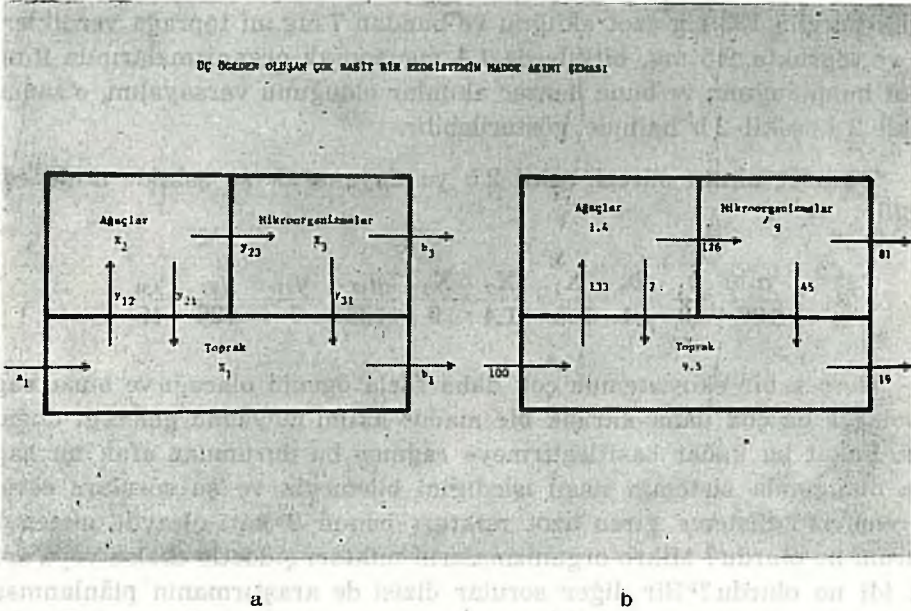
Aşağıda, Smith (1970) tarafından geliştirilen bir sistem model tablo ve şekilleri ile aynen örnek olarak verilmiştir. Yalnız araştırmacı tarafından verilen ekosistemdeki fosfor yerine azot, su yerine toprak, bitki yerine orman ağacı öğeleri alınmak suretiyle tarafımızdan ufak bazı değişiklikler yapılmıştır. Ekolojik bağıntıların daha iyi kurulabilmesi için bu değişikliğe ihtiyaç duyulmuştur.

Çok basit bir varsayıma dayanan bir orman ekosistemde sistem analizlerine ait yöntemlerin nasıl saptandığını ve sonuçların nasıl sentez edildiğini bu basit örnek üzerinde araştıralım :

Üç ögeli (bileşenli) bir orman ekosistemi kabul edelim. Orman ağaçları, toprak ve toprak organizmaları (ayrıştırıcı organizmalar) bir ekosistem meydana getirsin. Şöyle bir varsayım kabul edelim: Ağaçlar topraktan azot alsınlar ve toprağa da azot bileşikleri versinler. Toprak organizmaları da ağaçlardan azot bileşikleri alsınlar, fakat ağaçlar bu canlı toprak organizmalarından doğrudan doğruya azot bileşikleri alamazlar. Bu organizmalar toprağa azot bileşikleri versinler ve organizmaların ölü örtüyü ayrıştırması esnasında bir miktar azot da sistem dışına

gitsin, örneğin denitrifikasyonla azot kaybı olsun. Buna karşılık toprağa da dışardan (örneğin atmosferik yağışlardan) bir miktar azot gelmiş olsun.

Bu basit orman ekosistemindeki azot besin maddesine ait bu akım, şekil 2 deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2

Bir model ekosistemde madde dolaşımı

(D. E. Reichle, 1970 den).

- 1) X_1 : Topraktaki azot miktarı
- 2) X_2 : Orman ağaçlarındaki azot miktarı
- 3) X_3 : Toprak mikro organizmalarının azot miktarı
- 4) a_1 : Topraktaki azota dışardan eklenen miktar
- 5) b_1 : Topraktaki azottan eksilen miktar
- 6) b_2 : Toprak organizmalarından kaybedilen azot miktarı
- 7) y_{12} : Topraktan orman ağaçlarına verilen azot miktarı
- 8) y_{21} : Orman ağaçlarından toprağa verilen azot miktarı

- 9) y_{23} : Orman ağaçlarından mikro organizmalara verilen azot miktarı
- 10) y_{31} : Toprak organizmalarından toprağa verilen azot miktarı.

Bu sisteme her gün 100 mg azot girdiğini, topraktan orman ağaçlarının hergün 133 mg azot aldığını ve bundan 7 mg.ını toprağa verdiklerini ve toprakta 9.5 mg, bitkilerde 1.4 mg, toprak organizmalarında 9 mg azot bulunduğunu ve buna benzer akımlar olduğunu varsayalım, o zaman şekil 2 a, şekil 2 b halinde gösterilebilir.

Bu azot akımı süreci, şekil 2 b 'ye dayanarak şu şekilde ifade edilebilir.

a_1	b_1	b_3	X_1	X_2	X_3	y_{12}	y_{21}	y_{23}	y_{31}
100	19	81	9.5	1.4	9	133	7	126	45

Gerçek bir ekosistemde çok daha fazla ögenin olacağı ve buna bağlı olarak da çok daha karışık bir madde akımı meydana geleceği doğaldır. Fakat bu kadar basitleştirmeye rağmen bu durumdan ufak bir sapma olduğunda sistemin nasıl işlediğini bilemeyiz ve şu sorulara cevap veremeyiz : Sisteme giren azot miktarı bunun 2 katı olsaydı, sistemde durum ne olurdu? Mikro organizmaların miktarı şiddetle azalsa veya artsa idi ne olurdu? Bir diğer sorular dizisi de araştırmanın plânlanması ile ilgilidir. Değişik azot miktarlarının öneminin derecesi nedir? Her bir miktar nasıl tahmin edilebilir? Sistem hakkında daha fazla bilgi edinilmesini sağlayan bu soruların cevaplandırılması için çeşitli koşullar altında ya kontrollü denemeler yapılır yahut doğal değişiklikler incelenir ve bunlara dayanılarak bir matematik model geliştirilir. Ekosistem araştırmalarında bu şekilde yapılacak arazi ve laboratuvar çalışmalarına kıyasla bir matematik modelin geliştirilmesi hem daha ucuzdur hem de bu hususta ileri tekniğe sahip bilgi sayarlarla daha kolay olumlu sonuç alınabilme olasılığı vardır. Bu nedenle aşağıda bu esasa göre kurulmuş bir modelden yararlanılacaktır. Bu yönteme göre modelimizdeki sisteme farklı miktarlarda azot girdiği takdirde, sistemdeki dengeden sonra diğer dokuz azot miktarının ne olacağını saptanmasına çalışalım: Sisteme değişik günlerde 25, 100, 400, 900 mg azotun girdiğini kabul edelim, değişik miktarlarda giren azot için sistemde saptanabilecek sonuçlar tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1

Model sisteme dışardan giren çeşitli azot miktarlarına göre sistemde meydana gelen azot akımı değişimleri

a_1	b_1	b_3	X_1	X_2	X_3	y_{12}	y_{21}	y_{23}	y_{31}
25	9	16	4.5	0.9	4	40.5	4.5	36	20
100	19	81	9.5	1.4	9	133	7	126	45
400	39	361	19.5	2.4	19	468	12	456	95
900	59	841	29.5	3.4	29	1003	17	986	145

Bütün miktarlar sisteme giren miktarlarla birlikte artmakta, fakat bu artış giren miktarla orantılı olmamaktadır. Sisteme giren miktarlara karşı çok hassas olan 3 azot miktarı (toprakтан orman ağaçlarına, orman ağaçlarından mikro organizmalara ve mikro organizmalardan sistem dışına transfer olan) vardır. Diğerleri çok daha az hassastır.

Bundan sonraki adım varsayımın formüle edilmesi için ekosistem sürecindeki önemli fonksiyonlara ait sayısal değerlerin nasıl etüd edileceğidir. Bu hususta çeşitli yollar vardır. Bunlardan biri eldeki sayısal değerlere dayanarak faktörlerle ilişkili olan çok basit fonksiyonları bulabilmektedir. Modelimize göre tanzim edilen tablodan şu basit eşitlikleri yazmak mümkündür.

$$b_1 = 2X_3 + 1$$

$$b_1 = 4y_{21} - 9$$

Yine bu tabloya dayanarak şu eşitlikler yazılabilir :

Sayısal çözüm	Parametre fonksiyonu	Parametrenin belirlenmesi
$b_1 = 2 X_3$	$b_1 = C_1 \cdot X_3$	$C_1 = 2$
$b_3 = X_3^2$	$b_3 = C_2 \cdot X_3^2$	$C_2 = 1$
$y_{12} = 10 X_1 \cdot X_2$	$y_{12} = C_3 \cdot X_1 \cdot X_2$	$C_3 = 10$
$y_{21} = 5 X_2$	$y_{21} = C_4 \cdot X_2$	$C_4 = 5$
$y_{23} = 10 X_2 \cdot X_3$	$y_{23} = C_5 \cdot X_2 \cdot X_3$	$C_5 = 10$
$y_{31} = 5 X_3$	$y_{31} = C_6 \cdot X_3$	$C_6 = 5$

Şekilde 2 ye bakılarak azot akım yönüne göre 3 öge için (yoprak, orman ağacı ve toprak organizmaları) şu diferansiyel oran yazılabilir :

$$dX_1/dt = a_1 + y_{21} + y_{31} - y_{12} - b_1$$

$$dX_2/dt = y_{12} - y_{21} - y_{23}$$

$$dX_3/dt = y_{23} - y_{31} - b_3$$

Burada bağımlı değişkenler yerine yukarıda bulunan değerleri konursa bu ekosistem için bir matematiksel model elde edilmiş olur; şöyle ki :

$$dX_1/dt = a_1 + C_4 \cdot X_2 + C_6 \cdot X_3 - C_3 \cdot X_1 \cdot X_2 - C_1 \cdot X_1$$

$$dX_2/dt = C_3 \cdot X_1 \cdot X_2 - C_4 \cdot X_2 - C_5 \cdot X_2 \cdot X_3$$

$$dX_3/dt = C_5 \cdot X_2 \cdot X_3 - C_6 \cdot X_3 - C_2 \cdot X_3^2$$

Fonksiyonlardaki sayısal değerler sadece tahmini değerler olduklarından ve bunlar her faktöre göre değişeceğinden bunlar parametre olarak C_1 — C_6 şeklinde sembollerle ifade edilmişlerdir. Şimdi şu soru ortaya atılabilir: Bu 6 parametre doğruya yakın bir şekilde nasıl tahmin edilebilir? Bu problemin çözümü için sistem analizlerindeki «*Duyarlılık = hassasiyet analizlerin*» den faydalanılmaktadır. Eldeki modele ait değerler bilgi sayara verilir, bilgi sayar parametrelerin önemli olduğunu bulursa, o zaman parametreler duyarlılıkla belirlenir, aksi taktirde buna gerek yoktur. Örneğimizde parametrelerin duyarlılıkla belirlenmesi gerektiği anlaşılmış olup «*Duyarlılık analizi*» sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Duyarlılık analizi

Her parametre değerinin en çok % 1 fazlalıkla tahmin edilmesi halinde, topraktan diğer sisteme çıkıp gidecek azot miktarının (b_1) belirlenmesinden yapılacak % hata değerleri

Parametre	% hata	Oransal duyarlılık
C_1	+ 0.900	1.00
C_2	— 0.426	0.47
C_3	— 0.900	1.00
C_4	+ 0.047	0.05
C_5	+ 0.853	0.95
C_6	0.000	0.00

Bu tabloda en yüksek % hata olan 0.900, «1» kabul edilip diğer % hatlar buna göre hesaplanarak 3. sütun olan «*Oransal duyarlılık = nsbî hassasiyet*» bulunmuştur. Bu tabloya bakarak denilebilir ki her parametre değerinin % 1 oranında değişmesi halinde çıkan azot miktarı da

sıfır ile % 0.9 arasında değişecek demektir. Diğer bir deyimle herhangi bir parametre % 1 hata ile tahmin edilmişse çıkan azotun miktarında da aynı oranda bir hata yapılmış olacaktır. C_6 için duyarlılık sıfır bulunmuştur. Bunun anlamı mikro organizmalardan toprağa gelen azot miktarı, topraktan çıkıp giden (b_1) azot miktarı üzerinde etkili olmayacaktır. Onun için de C_6 'nın belirlenmesi (tahmini) gereksizdir. Buna göre denebilir ki en önemli üç parametre vardır. C_1 , C_3 ve C_5 . Onun için en çok bunların hata % lerinin azaltılmasına çalışılacaktır. C_4 üzerinde de durulmayabilir. C_2 için de orta derecede gayret sarfedilebilir.

Dikkat edilecek olursa burada topraktan çıkan azot üzerinde durulmuştur ve tablo ona göre yapılmıştır. Zira araştırmacı topraktan kaybolan azot miktarına önem vermiştir. Başka bir faktöre, örneğin toprakta kalan azota önem verilseydi «duyarlılık analizinin» programı ona göre yapılırdı ve her seferinde başka sonuçlar bulunurdu. Nitekim orman ağaçlarında ve mikro organizmalarda ve toprakta kalan azot miktarı için (X) «Duyarlılık analizi» yapılırsa tablo 3 elde edilir.

Tablo 3. Duyarlılık analizi

Her parametrenin % 1 oranında fazla tahmin edilmesi halinde üç öğede (toprak, ağaç, mikro organizma) kalan azot miktarı (X) in belirlenmesinde yapılacak % hata

Parametre	Model ekosistem öğeleri			Toplam	Oransal duyarlılık
	Toprak	Orman ağacı	Mikroorganizma		
C_1	-0.100	-0.079	-0.106	0.285	0.14
C_2	-0.426	+0.354	-0.405	1.185	0.59
C_3	-0.900	+0.068	+0.106	1.074	0.53
C_4	+0.047	-0.004	-0.006	0.057	0.03
C_5	+0.853	-1.064	-0.100	2.017	1.00
C_6	0.000	+0.357	0.000	0.357	0.18

Burada çeşitli yöntemlerle model sistemin geliştirilmesine devam edilebilir. Bunlardan biri, işareti dikkate almadan üç öğeye ait değerleri toplama ve en büyüğünü (2.017), «1» kabul ederek ve değerlerini de buna kıyasla hesaplayarak oransal duyarlılığı bulmaktadır. Bu hesaplar yapılıncaya görülür ki en büyük değer C_5 parametresine aittir. Bu parametre-

nin y_{23} denklemine girdiği hatırlanırsa, bitkilerden mikro organizmalara geçen azotla ilişkili olduğu, onun için önemli bulunduğu (ölü örtü ayrıştırılması), buna dayanarak da bu parametrenin hata sınırlarının daraltılması gerektiği kolayca anlaşılır. C_2 - Parametresi mikroorganizmalardan kaybolan azotla, C_3 ise ağaçların aldığı azotla ilgilidir ve önemlidir. Diğerleri ise o kadar önemli değildir. Zira hata % leri düşüktür.

Bu model gerçek bir model değildir ve sonuçları herhangi bir doğal ekosisteme uygulanamaz. Buradaki amaç, basit bir modelde bile parametrenin tahminindeki duyarlılığın bir parametreden diğerine büyük çapta değiştiğinin gösterilmesidir. Daha karışık bir sistemde bu nevi değişikliklerin çok daha fazla olacağı muhakkaktır ve birçok parametrenin belki duyarlılık tahmin edilmesine gerek olmadığı görülecektir. Böylece bu sistemin kullanılması ile ekosistemde çok sayıda bulunan faktörlerin hepsinin incelenmesi ve duyarlılıkla saptanması ile uğraşılmıyacak ve bu şekilde hem zaman hem de emekten tasarruf edilmiş olacaktır. Onun içindir ki böyle bir model, araştırma programlarının başlangıcında çok gereklidir.

Doğal koşullar altında kurulacak böyle bir modelin faydalı olacağı muhakkaktır, yalnız modelin az veya çok doğru kurulması gerekir, aksi takdirde bütün uğraşlar boşa gidebilir. Onun için modeli kritiğe arz etmek, olumsuz yönleri olabileceğini daima düşünmek, diğer modelleri iyice incelemek gerekir. Modelimizin, sistem analizinin daha detaylı yapılmasını sağlayacak kadar gerçek bir model olduğunu varsayalım. Evvelce söz konusu olan sorulara tekrar dönelim. Sisteme giren azot miktarı 2 misline çıksa, sistemde ne gibi değişiklikler olur? Modelimizde sisteme günde 100 mg azot gireceği yerde 200 mg girse, bu değerleri bilgi sayara verip sistem dengeleninceye kadar hesap yaptırsak, sonuçları bulurduk :

$$\begin{array}{lll} X_1 = 13.6 & b_1 = 27.3 & y_{21} = 9.1 \\ X_2 = 1.8 & b_3 = 172.7 & y_{23} = 238.4 \\ X_3 = 13.1 & y_{12} = 247.7 & y_{31} = 65.7 \end{array}$$

O halde bu modele dayanarak, bir ekosistemdeki herhangi bir faktörün değişmesinin, sistemdeki madde akımında ne gibi kantitatif değişiklikler meydana getirebileceği saptanabilmektedir ki bu son derece önemlidir. Zira bu sonucu, uygulamada karşılaşılan problemlerin çözümü için bir araç olarak kullanırsak, doğal dengesi bozulmuş bir ekosistemdeki madde ve enerji akımlarında meydana gelen değişiklikler saptanabilir. Bu da başlangıçtaki çıkış noktamızda belirttiğimiz amaca bu yolla

varılabileceğini yani doğal ekosistemlerin kontrollü ekosistemlere dönüşürülebilme olanağının bulunduğunu gösterir.

Evvelce yöneltilen sorulardan biri de şu idi: Mikro organizmaların sistemdeki sayısı azalsa sistemde ne gibi bir değişiklik olur? Şimdi duyarlılık analiz tablosuna (tablo 2) bakalım ve bu durumun parametre C_2 de bir artış meydana getirdiğini düşünelim. Bu tablolardaki hata % leri önündeki işaret, değişme yönünü verir. İşaret (—) ise ve parametrenin mutlak değeri artıyorsa (b_1) eksilecek demektir, işaret (+) ise b_1 de artacak demektir. Onun için C_2 nin artışı b_1 in azalmasına neden olacaktır. Yani topraktan çıkıp giden azot miktarı azalacak demektir. Aynı şekilde tablo 3 incelenirse (C_2) nin değerinin artması ile toprak içinde (X_1) ve mikro organizmalarda (X_3) kalan azot miktarları azalacaktır, zira bunlara ait C_2 parametrelerin işareti (—) dir. Buna karşılık ağaçlarda kalan azot miktarı (X_2) artacaktır. Zira buna ait C_2 nin işareti (+) dir. Bu, mantıkî olarak da böyledir. Mikro organizmalar azalrsa, bitkisel artıklardaki azotlu maddelerin de ayrıştırılması azalır, bunun sonucunda bitkisel artıklarda kalan azotlu bileşikler çoğalır, buna karşılık toprağa geçen azot miktarı azalır.

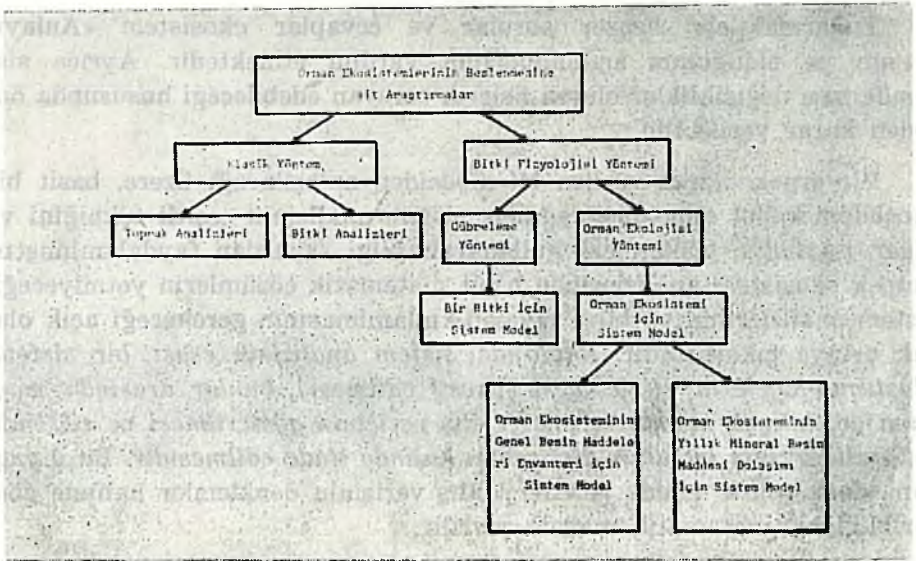
Yukarıdakilere benzer sorular ve cevaplar ekosistem «Anlayışı»nın ne olduğunun açıklanmasına yardım etmektedir. Ayrıca sistemde bazı değişiklikler olursa nelerin cereyan edebileceği hususunda önceden karar verilebilir.

Bir örnek olarak verilen bu modelden anlaşılacağı üzere, basit bir ekosistem kabul etmemize rağmen, sistem analizinin çeşitli tekniğini ve diğer istatistik yöntemleri kullanarak bilgi sayardan faydalanılmıştır. Gerçek ekosistem analizlerinde basit matematik çözümlerin yetmeyeceği, sistem analizlerinin ve bilgi sayarın kullanılmasının gerekeceği açık olarak ortaya çıkmaktadır. *Ekolojide, sistem analizinin esası, bir sistemi oluşturan öğelerin nitelenmesi (tavsif edilmesi), bunlar arasında meydana gelebilecek madde ve enerji alış verişinin gösterilmesi ve sistemin bu özelliklerinin bir akım diyagramı halinde ifade edilmesidir.* Bu diyagram, daha sonra madde ve enerji alış verişinin denklemler halinde gösterildiği bir matematik modele çevrilir.

Sistem modellerinin hazırlanmasında şu üç basamak önemlidir :

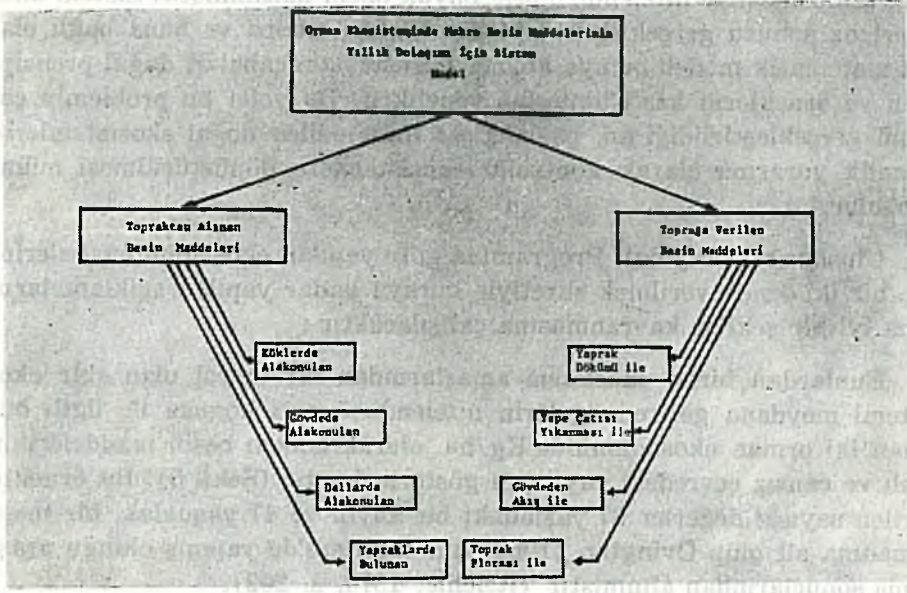
1. Organizasyonun yapılması
2. Zamanın belirlenmesi
3. Mekanın belirlenmesi

Organizasyon da kendi arasında kademelendirilebilir (şekil 3 ve 4). Örneğin orman ekosisteminin besin maddelerine ait sistem analizi organizasyonu için organizasyonun farklı iki basamağı olarak bir orman ekosistemindeki mineral besin maddelerinin, ekosistemi oluşturan ögeler arasında nasıl bir dolaşım gösterilebileceği bir diyagram halinde ifade edilir. İkinci kademedede de genel olarak bir bitkinin gelişimi için gerekli mineral madde alış verişi dengesini gösteren şema çizilir. Böylece kavranıp işlenemeyecek kadar karışık bir model yerine, uygulama olanağı bulunan birkaç model yapılabilir. Ancak bundan sonra bu modele uygun bir matematik tekniği uygulanmasına geçilebilir. Bunun dışında bu modellerin en önemli faydası, denemenin plânlanmasında örnekleme işleminin eksiksiz yapılabilmesini sağlamalarıdır. Örneğimizde adı geçen modeller orman ekosistemi içindeki besin maddesi elementlerinin alış verişinin meydana çıkarılabilmesi için genel örneklemenin yerlerini göstermektedir. Bu örnekler bir defa meydana çıktı mı, bunlar besin maddesi özel probleminin çözümünde kullanılır. Zaman bakımından ise bu model bir sistemin 1 dakikalık çalışmasını gösterebileceği gibi, bir günlük, bir yıllık çalışmasını da açıklayabilir.



Şekil 3

Orman ekosisteminin beslenme problemine ait sistem analizi için organizasyonun ilk basamağı.



Şekil 4

Orman ekosisteminde makro besin maddelerinin yıllık dolaşımının araştırılması için bir sistem modeli

Mekân bakımından ise model, bir m^2 lik alanı veya tüm bir arazi parçasını kapsayacak şekilde olabilir.

Sistem analizlerinin bu şekilde ekolojiye uygulanmasında şu iki önemli hususun veya bunlardan birinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

1. Ekolojinin karışık karakterine uygun bir sistem teorisi seçilmeli,
2. Sistem analizine uyacak şekilde ekolojik olaylar basitleştirilmelidir.

Şimdilik daha çok ikinci hususun gerçekleştirildiği görülmektedir. Ekosistem analizlerinin faydaları çok yönlüdür. Bir defa bu yolla sistemdeki birçok değişkenlerin fonksiyonları teker teker meydana çıkarılmakla beraber çok karışık ilişkiler ağından oluşan orman ekosisteminin çeşitli özelliklerine ait parça, parça ve tamamlanmamış bulgular yerine, bunlar bütünleştirilerek ekosistemin özellik ve fonksiyonu ortaya çıkarılabilmektedir. Bundan başka çağımızda olayların matematiksel esaslara

göre tanıtılması ve nitelendirilmesi büyük önem kazanmıştır. Sistem analizleri bu sonucu gerçekleştirmektedir. Sistem analizi ve buna bağlı olarak matematik modeli ortaya koyma hususundaki çabalar, doğal prensiplerin ve örneklerin keşfedilmesine yöneliktir. Bu yolla bu problemin çözümü gerçekleştirildiği an, başlangıçta ifade edilen doğal ekosistemlerin insanlık yararına olarak kontrollu ekosistemlere dönüştürülmesi mümkün olur.

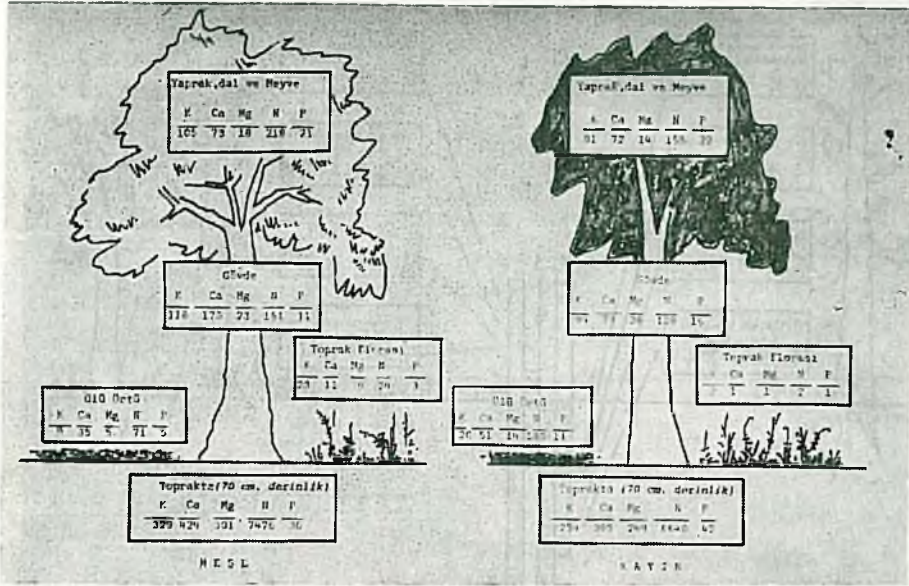
Uluslararası Biyoloji Programına göre yapılan ekosistem analizlerinden bir iki örnek verilmek suretiyle buraya kadar yapılan açıklamaların daha iyi bir şekilde kavranmasına çalışılacaktır :

Bunlardan birisi ekosistem amaçlarından bir tanesi olan «bir ekosistemi meydana getiren öğelerin nitelendirilmesi» konusu ile ilgili bulunan iki orman ekosisteminde Kg/ha. olarak makro besin maddelerinin canlı ve cansız çevredeki yayılışını göstermektedir (Şekil 5). Bu örnekte verilen sayısal değerler 37 yaşındaki bir kayın ve 47 yaşındaki bir meşe ormanına ait olup Ovington (1962) nin İngiltere'de yapmış olduğu araştırma sonuçlarından alınmıştır (Reichle, 1970, s. 202).

İkinci örnek ise Belçika'daki bir *Quercus robur-Fraxinus excelsior* ormanında bazı makro besin maddelerinin Kg/ha. olarak yıllık dolaşımına aittir (Şekil 6). Bu örnekte verilen sayısal değerler Duvigneaud ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmalardan alınmıştır (Reichle, 1970, s. 201).

Bu iki araştırma orman ekosistemlerindeki kademeli sistem analizlerine ait tipik birer örnek teşkil ederler. Zira bu iki araştırmada orman ekosistem analizlerinin ana amaçlarından olan «Bir Ekosistemi oluşturan öğelerin nitelenmesi» ve «Ekosistem öğeleri arasında meydana gelebilecek madde ve enerji alışverişinin gösterilmesi ve sistemin bu özelliklerinin bir akım diyagramı halinde ifade edilmesi» gibi iki ana amacın gerçekleştirildiği görülmektedir.

Ekosistem analizi çalışmalarının ana amaçlarından veya aşamalarından birinin de ekosistem içinde meydana gelen madde veya enerji alışverişinin matematik denklemler halinde gösterilmesi olduğu evvelce açıklanmıştı. Bu konuda sadece bir fikir vermek amacı ile orman ekosistemlerinde evapotranspirasyonun ve net radyasyonun saptanabilmesi için enerji akımlarına ait matematik formüllerin geliştirildiğini ifade etmekle yetinilecektir (Kiese, 1971). Bu matematik denklemlerin burada tanıtılması veya daha çok ayrıntıya gidilmesi gereksiz görülmüştür. Yalnız

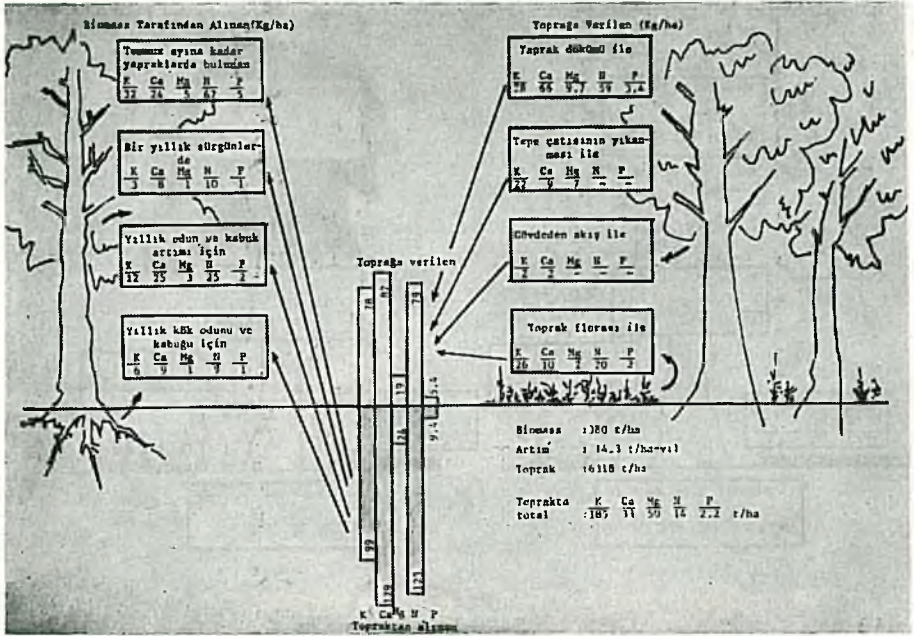


Şekil 5

Bir orman ekosistemi yapısının anlaşılması için yapılan araştırmalara bir örnek : Meşe ve kayın ekosisteminde bazı makro besin maddelerinin sistem içindeki dağılışı

şu noktanın belirtilmesinde yarar vardır: Bu gibi araştırmalar çok geliştirilmiş modern aletler ile kaydedici bilgi sayarlara sahip olunması zorunluğunu doğurmaktadır. Örneğin yukarıda adı geçen araştırmada bir orman ekosisteminin çeşitli yüksekliklerinde rüzgâr hızını çok kısa aralıklarla ölçüp kaydeden ölçme aletleri sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile rüzgâr hızı üç dakikada 60 kere ölçülüp karta delinmek suretiyle kaydedilmekte ve günlük ortalama alması için bir bilgi sayara iletilmekte, bilgi sayar da günlük ortalama sonuçlarını yazılı olarak araştırmacıya vermektedir. Bu sistemle günlük ortalama rüzgâr hızı 0.2 m/s duyarlılıkla ölçülebilmektedir. Aynı şekilde bir bilgi sayar için geliştirilmiş matematiksel formül ile enerji akımlarına dayanarak belirli zaman kesimleri için (günlük, haftalık, aylık) evapotranspirasyon miktarları saptanabilmektedir (Kiese, 1971, s. 138).

Evvelce açıklanan çok taraflı yararlarından dolayı «Sistem analizi tekniği» ve «Çok gelişmiş kaydedici bilgi sayarlar» a gereksinme göstermesine rağmen, ekosistem analizlerinin uygulamada kolayca kullanılacak



Şekil 6

Bir orman ekosistemi sürecinin anlaşılması için yapılan araştırmalara ait bir örnek : Bir *Quercus robur* - *Fraxinus excelsior* orman ekosisteminde Kg/ha olarak makro besin maddelerinin yıllık dolaşımı (sayısal değerler D. E. Reichle, 1970 ten alınmıştır).

hale getirilmesi için araştırma ve çabalar sürdürülmektedir. Ülkemizde yapılacak orman ekosistem araştırmalarında, bu yönde alınmış olan yol daima göz önünde bulundurularak mevcut ekolojik olayların basitleştirilerek ekosistem analizine uyacak şekilde plânlanması sayısız faydalar sağlayacaktır.

FAYDALANILAN KAYNAKLAR

- Bowen, B., 1970 : «Ekoloji nedir?». *Ufuk Dergisi*, cilt 3, sayı 1.
- Clarke, G. L., 1954 : *Elements of Ecology*. Willey and Sons Inc. New York.
- Cole, M. C., 1970 : «Varlığın Devamı İçin Yarış», S. 3-8, *Ufuk Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1.
- Coaldrake, J. E., 1961 : *The ecosystem of coastal Lowlands*. *Bull. Commonw. Scient. Ind. Res. Org.*, 283.

- Ellenberg, H. 1971 : «Ecology and the International Biological Programm», P. 1-15, Ellenberg, H., Integrated Experimental Ecology. Springer Verlag, Berlin.
- Fortescue, J. A. C. and G. G. Marten, 1970 : «Micronutrients: Forest Ecology and System Analysis», P. 173-198. Reichle, D.E., Analysis of Temperate Forest Ecosystem. Springer Verlag, Berlin.
- Gigon, A., 1974 : «Ecosysteme: Gleichgewichte und Störungen» S. 16-19, Leibundgut, H., Landschaftschutz und Umweltpflege.
- Kiese, O. 1971 : «The Measurement of Climatic Elements which Determine production on various plant Stands», P. 122-152, Ellenberg, H., Integrated Experimental Ecology. Springer Verlag, Berlin.
- MacLennan, J. M., 1964 : (Sukachev, V. N. ve N. V. Dylis'den çeviri) Fundamentals of Forest Biogeocoenology. Oliver and Boyd, Edinburg and London.
- Odum, E. P. 1962 : Fundamentals of Ecology. W. B. Saunders Co., Philadelphia.
- Odum, E. P. 1963 : Ecology. Holt, Rinehart and Winston Inc., New York.
- Odum, E. P., 1969 : The Strategy of Ecosystem. Development Science 164: 262-270.
- Ovington, J. D., 1960 : The Ecosystem Concept as an aid to forest Classification. Silva fenn., 105.
- Patten, B. C., 1959 : An introduction to the Cybernetics of the Ecosystem. Ecology, 40.
- Rehfuess, K. E. 1974 : Belastung von Waldökosystemen - Möglichkeiten der Vorbeugung und Abwehr. Forstw. Cbl., 93. Jahrg., H. 1, S. 10-19.
- Rehfuess, K. E., 1975 : Wälder als unersetzliche Ökosysteme und ihre Berücksichtigung in der Landesplanung. Forst-und Holzwirt, 30. Jahrg., H. 22.
- Reichle, D. E. 1970 : Analysis of Temperate Forest Ecosystem. Springer Verlag, Berlin.
- Schuster, C. 1975 : Überlegungen zur Arbeitsmethodik für die Versuchsplanung von Standortskundlichen Untersuchungen. Mitt. Eidg. Anstl. für das Forstliche Versuchswesen, Bd. 51, H. 1, S. 249-254.
- Smith, F. E., 1970 : «Analysis of Ecosystem», P. 7-19, Reichle, D. E., Analysis of Temperate Forest Ecosystem. Springer Verlag, Berlin.
- Sukachev, V. N. 1960 : The Correlation between the Concept «Forest Ecosystem» and «Forest Biogeocoenose» and their importance for the classification of forest. Silva fenn. 105.
- Tansley, A. G. 1935 : The Use and abuse of Vegetational Concepts and Terms. Ecology 16: 284-307.
- Uslu, S. 1959 : İç Anadolu Steplerinin antropojen karakteri üzerine araştırmalar. Yenilik Basımevi, İstanbul.
- Van Dyne, G. M., 1966 : Ecosystems, Systems Ecology and Systems Ecologists. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. Contract No. W-7405 eng-26