

# Arkeoloji, Etmen-Temelli Modeller ve Simülasyonlar<sup>1</sup>



Bülent ARIKAN<sup>2</sup>

**Keywords:** Anatolian archaeology, Processual archaeology, modeling, socio-ecological systems

*The most significant development in social sciences during the last three decades has been the use of mathematical equations to express the relationships among data. While such relationships are used to build models and run simulations, it is also possible to test hypotheses statistically. The emergent scientific syntheses have solid scientific foundations and present the opportunity to assess several dynamics together. Archaeology witnesses interdisciplinary research. The use of equations and algorithms, testing the adaptive behavior of human societies under different conditions are only possible through agent-based modeling. Consequently, the cycle of observation-hypothesis-testing can be established in archaeology. Another significant contribution of modeling is the exploration of coupled socio-ecological systems at different spatio-temporal scales. The expansion of this new research method among archaeologists will allow for a more accurate interpretation of data from a wider perspective while enabling a larger segment of society to make use of research results.*

**Anahtar Kelimeler:** Anadolu arkeolojisi, süreçsel arkeoloji, modelleme, sosyo-ekolojik sistemler

*Sosyal bilimlerde son otuz yıldır süregelen değişimlerden en önemlisi, farklı alanlardan araştırmacıların çalışmasıyla çıkan verilerin birlikte değerlendirilmesi, bu verilerin matematiksel denklemlerle ifade edilmesidir. Veriler arasındaki ilişkilerle bir model kurulur ve simülasyonlar hazırlanırken, hipotezler istatistiksel olarak test edilebilmektedir. Sonuçta ortaya çıkan sentezler bilimsel olarak daha sağlam temellere otururken, birden fazla dinamiği birlikte değerlendirme imkanı da sunmaktadır. Arkeoloji farklı bilimsel alanlardan gelen insanların ortak çalışmalarına sahne olmaktadır. Verilerin sayısallaştırılması, ilişkilerin matematiksel denklemler ve algoritmalarla ifade edilmesi ve farklı şartlar altında insan topluluklarının adaptasyona yönelik davranışlarının test edilmesi ancak etmen-temelli modeller ile mümkün olmaktadır. Böylece arkeolojide gözlem-hipotez-test döngüsü kurulmaktadır. Bu modellerin daha önemli*

<sup>1</sup> Hakeme Gönderilme Tarihi: 01.10.2017 Kabul Tarihi: 11.10.2017

<sup>2</sup> Bülent ARIKAN, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Ekoloji ve Evrim Anabilim Dalı, Maslak-Sarıyer, 34469 İSTANBUL; bulent.arikan@gmail.com.

## Giriş<sup>1</sup>

Geniş tanımıyla arkeoloji; geçmiş kültürlerin maddi kalıntılarının bir grup araştırma sorusuna cevap aramak üzere, belirli kurallara göre toplandığı ve kuramsal çerçevelere oturtularak yorumlandığı bir disiplindir. Doğa bilimlerinden ve sosyal bilimlerden kendi amaçları için uyarlayarak kullandığı birçok yöntem yardımıyla, arkeoloji geçmiş toplulukların hem sosyal ve ekonomik, hem de teknolojik gelişim ve değişimlerine ışık tutmayı amaçlar. Yeni / Süreçsel Arkeoloji'ye (buradan itibaren SA) bağlı bir arkeolog olarak, arkeolojinin bunların dışında kalan ve en az bunlar kadar önemli bir başka işlevinin daha olduğuna inanıyorum. Arkeoloji, bir bölgede yaşayan insan topluluklarının zaman içinde nasıl evrildiğine ya da belirli bir topluluğun zamanda geçirdiği değişimlere odaklanırken, aslında bizlere süreçler hakkında da bilgi vermektedir. Bu süreçler, sadece çalışılan topluluğun A noktasından B noktasına varışında çok önemli roller üstlenmemekte, buna ek olarak katedilen süreçte hangi kararların neden ve nasıl alındığı, bu kararların insan topluluklarının adaptasyonuna nasıl etki ettiği, insan topluluklarının dışındaki canlıları nasıl etkilediği ve insan-çevre ilişkilerindeki yansımaları gibi çok detaylı konularda araştırmacılara ipuçları sunmaktadır (Binford 1962; Binford 1965; Binford – Binford 1968). Arkeolojik veri kullanılarak süreçleri anlamının ve anlamlandırmanın önündeki en büyük engel ise, verinin zaman boyutundaki kopukluk ve fiziksel olarak süreklilik arz etmeyişi (Schiffer 1983; 1987). Arkeolojik değerlendirmeye alınan verilerin sadece o zamandan bugüne korunabilenlerle sınırlı olması sonucunda araştırmacılar genellikle farklı buluntu gruplarından oluşan malzemeler ile değerlendirme yapmak zorunda kalırlar. Bu değerlendirmeler daima eksik verilerle ilerlemek durumundadır (Schiffer 1983: 692-697).

Amerikan arkeolojisinde yaklaşık yirmi yıldır gelişme gösteren (Kohler ve Gumerman 1999; van der Leeuw – McGlade 2010), İngiltere'de dahil olmak üzere Avrupa'da uygulanan arkeolojide son on yıldır (Costopoulos – Lake 2010; Lake 2015) hız kazanan modelleme ve simülasyon çalışmaları ise süreç-veri arasındaki kopukluğu hesaplamalı bilimler yöntemlerini kullanarak gidermeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın uygulanmasında arkeolojik araştırmalardan elde edilecek olan verilerin yoğunluğu ve farklılığı esastır (Lake – Venti 2009; Lake 2015). Yoğun olarak toplanan ancak farklı gruplardan gelen verilerin sayısallaştırılması ve bunların arasındaki ilişkilerin algoritmalar

---

<sup>1</sup> Doktora eğitimim sırasında beni modeller ve simülasyonlarla tanıştıran, öğrenmem ve kullanarak geliştirmem için teşvik eden danışmanım C. Michael Barton'a, MML ve diğer simülasyonları geliştirme ve kullanma aşamalarında hiçbir zaman fikirlerini esirgemeyen arkadaşım Isaac Ullah'ya, bu makalede kavramsal ve metodolojik olarak tartışılan modelleme ve simülasyonların kullanımı ve geliştirilmesi için tüm verilerini kısıtlama olmaksızın açan Marcella Frangipane ve Arslantepe ekibine teşekkürü bir borç bilirim. MML Amerika Birleşik Devletleri National Science Foundation Coupled Natural and Human Systems program (grants BCS-410269 and DEB-1313727) projeleriyle geliştirilmiştir. Türkiye'de ilk uygulaması TÜBİTAK 113K826 no'lu proje kapsamında Malatya'daki Arslantepe Höyüğü'nün İlk Tunç Çağı-I katı için yapılmıştır. Bu projeyi destekleyen tüm kurum ve kuruluşlara minnet duygularımı ifade etmek isterim. Son olarak, bu makaleyi okuyarak fikir ve yorumlarını paylaştan eşim Gonca Dardeniz Arıkan'a teşekkür ederim.

halinde ifade edilmesiyle matematiksel olarak test edilebilen hipotezler arkeolojide artık standart araştırma yöntemleri haline gelmiştir. Ülkemizde arkeolojik araştırmalar 20. yüzyılın başından beri Türk ve yabancı bilim insanları tarafından yürütülmektedir. Yürütülen kazıların birçoğu uzun süredir devam ediyor ve her anlamda zengin buluntular veriyor olmasına rağmen, Anadolu arkeolojisinde modelleme ve simülasyon çalışmalarının hala yaygınlaşmamış olması üstünde durulması gereken büyük bir eksikliklerdir.

## Süreçler, Modeller ve Simülasyonlar

İnsan toplulukları, doğadaki diğer tüm varlıklar gibi belirli süreçlerden geçer. Bu süreçler sırasında, direkt veya dolaylı ilişkili oldukları diğer varlıkların da geçirdikleri süreçlere etki ederler (White 1959; Trigger 1989). Buna en çarpıcı örneklerden birisi insan topluluklarının çevre ile olan ilişkileridir. Çevrelerindeki kaynakları farklı yoğunluklarda kullanan insan topluluklarının faaliyetleri fauna, flora, toprak örtüsü ve jeomorfolojik yüzey süreçleri de etkilemektedir (Barton *et al.* 2010a; Barton *et al.* 2015). Bu ilişkili sistemler (*coupled systems*) ağının ortasında yer alan insan topluluklarının diğer süreçlere etkileri zaman içinde o denli artmıştır ki, tüm ekosistemi etkisi altına almıştır. İşte bu nedenle, yaklaşık olarak 18. yüzyılın sonunda başlayan Endüstri Devrimi'nden itibaren devam eden süreçte Antroposen (*Anthropocene*) denilmektedir.

SA ortaya çıktığı andan itibaren sadece bilimsel standartlara uygun yöntemlerle veri toplamayı ve bunları sadece tanımlayıp sınıflandırmayı değil, bu verileri hipotez çerçevesinde değerlendirip arkeolojik kanıtlardan tüme varmayı amaçlar (Binford 1965: 128-130). Bunu yaparken göz önünde tuttuğu ana tema kültürel evrimdir. Bu çerçevede, Kültürel Ekoloji ile işbirliği yapan SA, kültürel evrimin Morgan (1877) ve Tylor (1881) tarafından öne sürüldüğü gibi doğrusal (*unilinear evolution*) olamayacağını, kültürel evrimde insan topluluklarının çevreleri ile olan ilişkilerinin ön planda olduğu, kültürel evrime etken faktörlerin ve değişkenlerin detaylı olarak çalışılması ve anlaşılması sonucunda her bir kültürün kendine has şartlarda geçirdiği evrimin süreçlerinin ortaya çıkacağını önermiştir –*multilinear evolution*– (Binford 1965; Steward 1972). Kültürel evrimin aşamalarının ve geçirdiği süreçlerin ancak arkeolojik verilerin bilimsel yöntemlerle çalışılması sonucunda doğru olarak tespit edilebileceği ortak görüştür (Steward 1951; 1953). Bu nedenlerle, süreçlerin ortaya çıkışı, nitelikleri, getirdikleri sonuçlar ve etkiledikleri kültürün genel evrimine yaptıkları katkı önem kazanmaktadır.

Süreçlerin önemini modern toplumlara bakarak ve onları gözlemleyerek anlayabiliriz. Arkeolojik topluluklarla aralarında ekonomi, teknoloji ve sosyal organizasyon açısından büyük farklar olsa da, özünde süreçler ve alınan kararların süreçlere etkileri gibi konular birbiriyle kıyaslanabilecek özellikler gösterir. Günümüzde, merkezi yönetim tarafından alınan kararların çevreye olumlu ya da olumsuz etkileri, bu etkilerin ekosistemdeki diğer varlıkları ve onların içinde bulunduğu süreçleri nasıl etkilediği hepimizin hemen her gün izlediği ve parçası olduğu olaylar haline gelmiştir.

Arkeolojik dönemlere ait süreçleri ise eksiksiz olarak izlememiz mümkün değildir. Bunun temelinde Schiffer (1983; 1987) tarafından oluşum süreçleri (*formation processes*) olarak tanımlanan kültürel ve doğal faktörlerin kültürel malzemeye etkisi vardır. Dolayısıyla, kültürel malzemenin saklanmaya başladığı andan tekrar gün yüzüne çıktığı ana kadar geçirdiği sürede ona etki eden birçok faktör sonucunda tamamen kaybolması ya da kısmen tahrip olması söz konusudur. Kaybolan ya da hasara uğrayan her kültürel malzeme aynı zamanda kaybolan süreçtir. Ancak, kısmen tahrip olmuş ya da kaybolmuş olsa da elimizde süreçlere ilişkin çok sayıda ve farklı gruplardan veri bulunması arkeologlar için büyük bir imkandır. Her bir kanıt, bizi tüme götürecek bir ipucudur. Bu nedenle, her bir kanıtı süreci açıklayan veya sürecin hangi aşamalardan geçtiğine dair bilgiler veren bir nokta olarak görmek mümkündür. Her bir veri grubuna ait ipucunun süreçler içindeki yeri doğru olarak tespit edilmelidir. Bu nedenle, farklı veri grupları arasındaki ilişkiler doğru kurulmalı ve yorumlar sağlam, bilimsel temellere oturtulmalıdır. Ancak bu ilişkiler doğru kurulduğunda ve her bir verinin genel süreçler içindeki rolü (yeri) doğru anlaşıldığında noktaları birbirine bağlayarak resmi tamamlamak mümkün olacaktır.

Bu makalede bahsedilen etmen-temelli model bir ilişkiler ağını temsil etmektedir. İnsan ve çevre sistemlerinin birbirleriyle ilişkileri sosyo-ekolojik sistemler (*socio-ecological systems*) olarak tanımlanmıştır (Barton *et al.* 2010a; 2010b; 2015). Bu sistemler hem dinamik hem de karmaşıktır. Dinamik özelliği, her iki grubun da (insan ve ekoloji) sürekli değişen şartlara adaptasyon sürecinin bir sonucudur. Özünde, evrim süreklilik taşır (Fontana – Schuster 1997: 1453). Sosyo-ekolojik sistemler aynı zamanda karmaşık ilişkiler barındırır ki bu sistemin geçirdiği değişimlerde doğrusal olmayan ilişkilerin varlığını açıklamaktadır. İşte bu nedendir ki, farklı veri grupları arasındaki matematiksel ilişkiler çok değişkenli olarak kurulmalıdır. Süreçlerin anlaşılmasında ve detaylarının ortaya çıkarılmasında en önemli aşamalardan birisi bu modelin doğruluğudur. Modeli kurarken hangi değişkenin diğer hangi değişkenlerle ilişkili olduğu, bu ilişkilerin niteliği, zaman ve mekandaki değişimi göz önünde tutulmalıdır. SA kapsamında kurulan 'model' etkenlerin değişkenlere nasıl ve hangi yönde etki ettiğini 't' süresinde ve sınırları belirli 'p' mekanında açıklar. Burada, modeller ve simülasyonlar hakkında önemli bir konu vurgulanmalıdır. Modeller ve simülasyonlar hiçbir zaman gerçek dünyayı tamamen yansıtmayı amaçlamaz, çünkü gerçek dünya herhangi bir modelin veya simülasyonun kapsamından çok daha karmaşıktır. Ancak, modellerin ve simülasyonların amacı gerçekliği kabul edilebilecek oranda basitleştirerek ilişkiler ağını yeniden canlandırmak ve sonuçları sağlamaktır. Bu nedenle, modeller ve simülasyonlar bazı ilişkileri tamamen devre dışı bırakılabilirken kısıtlı veriler ışığında gerçek dünyadaki şartlar hakkında genellemeler ve kestirim / tahmin (*estimation*) yapılmaktadır. Önemli olan, bu tahminlerin dayandığı verilerin bilimsel esaslara uyularak toplanmış olmasıdır.

SA kapsamındaki modellerde sadece kültürlere ait arkeolojik malzeme grupları değerlendirilmez. Bunlara ek olarak, geçmiş çevre şartları da irdelenir. Bu bağlamda, çalışılan kültürün yaşadığı dönemdeki iklim, bitki örtüsü, fauna, topoğrafya, hidrolojik

şartlar gibi doğal çevre ile ilişkili tüm detaylar hakkında veri toplanarak ayrıntılı bir kurgulama (*reconstruction*) yapılır (Barton *et al.* 2010a; Arıkan 2017). Bu çabalar sonucunda, arkeolojik araştırmalar giderek artan oranda ve kısa sürede disiplinler arası nitelik kazanmıştır. Böylece arkeolojik araştırmalara jeoloji, jeomorfoloji, jeofizik, ekoloji, zooloji, botanik gibi alanların uzmanları dahil olmuştur. Kurgulanan paleo-çevre şartlarının zaman ve mekan ölçeği çok önemlidir. Çoğunluğu kaybolmuş ya da hasara uğramış arkeolojik verileri, yine oluşum süreçleriyle tahribata uğramış doğal şartlar hakkında bilgi sağlayacak vekil (*proxy*) verilerle kıyaslamak için ölçeklerdeki uyuma sorununa dikkat edilmelidir. Doğal çevredeki değişimlerin büyüklüğünü ve ölçeğini tahmin etmek, hem süreçlerin niteliğini teşhis etmek hem de o bölgedeki insan topluluklarının bu değişimlerden hangi oranda etkilenmiş olabileceklerini anlamak için önemlidir. Doğal çevreyi ve kültürleri etkileyen süreçler kısmen farklı da olsa sosyal ve ekolojik sistemlerin birbirleriyle ilişkide olması bir geri bildirim (*feedback*) mekanizması ortaya çıkartmaktadır (Redman 1999: 15-25). Bu mekanizma sayesinde ve bağdaşım (*coherence*) kavramı gereği değişimler ve değişimlere adaptasyonlar birbirini takip eder niteliktedir (Redman 1999: 18-21).

Bu makale kapsamında kullanılan 'simülasyon' terimi yukarıda kurgusu açıklanan bir modeli bilgisayar ortamında çalıştırmaya yarayan bir yazılım ve bunun ara yüzünü ifade etmektedir. Model hazırlanırken sayısallaştırılan veriler, algoritmalara dökülen ilişki ağları ve tanımlanan zaman ve mekân boyutları hesaplamalı bilimlerin sağladığı imkanlarla bilgisayar ortamında canlandırma aşamasına girer. Böylece, arkeolojik ve paleo-çevresel araştırmalardan elde edilen veriler soyut halden somut hale dönüşmüş olur. Somut halde, yani bilgisayar ortamında yeniden kurulan ve belirli bir zaman diliminde, belirli bir coğrafi alanda bir arkeolojik kültürün bilinen tüm özelliklerini barındıran dijital ortamda simülasyonlar çalıştırılır. Çalıştırılan her simülasyon aslında noktaları birleştirme ve tüme varım operasyonudur çünkü simülasyonun esas önemi arkeolojik ve doğal çevre verilerinin kaybolması sırasında yitirilen süreçleri ortaya çıkarmasıdır.

Sonuç olarak, SA çerçevesinde toplanan arkeolojik ve çevresel verilerin bir model çatısı altında birleştirilmeleri; verilerin sayısallaştırılmasını, ilişkilerin doğru tanımlanmasını, değişkenler arasındaki ilişkilerin algoritmalarla ifade edilmesini, farklı veri gruplarından gelen bilgilerin birbirleriyle zaman ve mekan ölçeklerinde uyuşturulmasını gerektiren bir veri analiz ve yorumlama yöntemidir. Bu yöntem, yukarıda özetlendiği haliyle, arazi çalışmalarında toplanan farklı türlerdeki veriyi bir araya getiren ve bilinen süreçlerden bilinmeyenleri çıkartarak tüme varmayı amaçlayan bir araçtır. Bu yöntemlerle, arkeolojik araştırmalarda geliştirilen hipotezleri test etme imkanı doğmuştur. Böylece, disiplin olarak ortaya çıktığı zamandan bu yana arkeolojide ilk defa gözlem-hipotez-test-kabul/ret döngüsü kurulmaktadır. Böylece arkeoloji farklı bir evreye girmektedir.

## Geçmiş İnsan Toplulukları ve Çevreleri ile Olan İlişkileri

Yukarıda açıklanan şekilde, modeller ve simülasyonlar arkeolojik araştırmaya fen bilimleri kapsayan bir araştırmanın temel basamaklarını kazandırmaktadır. Ancak, teknolojik gelişmelerin ve bilgi birikiminin modelleme ve simülasyonlara imkan vermesi, bu metotların kullanımına yeterli gerekçe olamaz. Bu yöntemleri kullanmadan önce doğru soruları sormak, çıkacak sonuçları doğru yorumlayabilmek, yorumları belirli bir kuramsal çerçeveye oturtabilmek esastır. Arkeolojik model ve simülasyon uygulamalarında giderek gelişmekte olan alanlardan birisi geçmiş insan-çevre ilişkileridir. Özellikle son otuz yıldır insan kaynaklı çevre sorunları ile karşılaşan günümüz toplumlarının insan-çevre ilişkilerinin dinamik ve karmaşık yapısının arka planını anlaması, bu ilişkilerin zaman ve mekan boyutlarında nasıl evrim geçirdiği hakkında bilinçlenmesi, geçmiş insan topluluklarının yol açtığı çevresel değişimlerin ölçüğü ve şiddeti hakkında bilgi sahibi olması önemlidir. Böylece geçmiş insan topluluklarının kendilerinden kaynaklanan (antropojenik) ya da doğal sebeplerden meydana gelen çevresel değişimler karşısında dirençlerinin (*resilience*) nasıl etkilendiğinin anlaşılması modern toplumların çevre ile olan ilişkilerine derinlik katacaktır. İnsan topluluklarının çevreleri ile olan ilişkilerinin değerlendirilmesinde çevresel şartlardaki değişimlere uyumları kadar bu uyum oluşuncaya kadar geçen zamandaki süreçler de önem kazanmaktadır. Direnç Kuramı ise bu süreci açıklayan bir kavramdır (Holling 1973; Gunderson 2000). Bu teoriye göre ekosistemde belirgin değişiklikler pozitif geri bildirim sınırının aşılmasıyla mümkün olur ve belirli bir amaca yönelik kaynak kullanımı arttığında bu sınıra yaklaşılır. Giderek artan kaynak kullanımı organizasyon aşamasında belirgin bir yeniden yapılanma gerektirir ki, bu sayede kaynaklar daha etkin ve verimli kullanılmaya başlar (Holling 1973; Gunderson 2000). Sonuç olarak, bu organizasyon değişikliği tüm sistemi etkisi altına alır ve daha karmaşık bir yapıya doğru evrilir (Holling 1973; Gunderson 2000).

Direnç Kuramı'nın arkeolojide kullanımı ise giderek yaygınlaşmakta olan ilişkili sistemler yaklaşımında yer bulmuştur (Redman 2005: 72-76). Buna göre, Geç Kalkolitik ve İlk Tunç Çağı (M.Ö. 3500-2000) Önasya kültürlerinin çevreleri olan ilişkilerini Rezilyans Kuramı'na göre değerlendiren Redman ve Kinzig; Uruk şehir devletinin ekonomik ve politik gücünün yükselmesiyle Mezopotamya'daki kaynak kullanımı düzeninde değişimlerin başladığını, bunun Jemdet Nasr döneminde zanaatkar sınıfın ortaya çıkması gibi sosyal organizasyona yönelik toplumsal etkilerinin olduğunu savunmuşlardır (Redman – Kinzig 2003: 14). Takip eden Er Hanedanlar döneminde, şehir devletlerinin civar bölgelerinde bulunan kaynakları yoğun olarak kullanma eğilimine girdikleri; ve son aşamada III. Ur hanedan döneminde, bu gelişim sürecinin mevcut şehir devletlerin bölgesel devletlere dönüşümü ile sonuçlandığı bilinmektedir (Redman – Kinzig 2003: 14). Sosyo-politik ve ekonomik evrimi doğal çevreye uyum ve kaynak kullanımı ile ilişkilendiren, insan topluluklarındaki değişimi Rezilyans Kuramı üzerinden açıklayan bu

yaklaşım çerçevesinde geçmiş toplumların sosyo-politik ve ekonomik evrimi sırasındaki her süreçte çevre ile olan ilişkilerini de detaylı olarak irdelemek mümkündür.

## İnsan-Çevre İlişkilerinde Simülasyon Tipleri

Geniş anlamda, iki simülasyon tipi vardır: (1) stokastik / rastlantısal değişkenli (*stochastic*), (2) etmen-temelli (*agent-based*). İlk tip simülasyonlar rastlantısal olarak seçilen tek bir değişkenin her seferde farklı değer alması şeklinde hazırlanır. Etmen-temelli simülasyonlarda ise onlarca değişken, aynen doğada olduğu gibi, birbirleriyle etkileşimleri sonucunda aynı anda değişir. Bu nedenle, stokastik simülasyonlar daha kısıtlı uygulama alanı bulurken, çok belirli konulara odaklı simülasyonlar yapılmasına olanak verir. Örneğin, iklim, bitki örtüsü, topoğrafya, insan faaliyetlerinin yoğunluğu ve türü, geçen zaman sabit bırakılarak ve sadece toprak türü değiştirilerek o çalışma alanı içinde erozyonun hangi toprak türünü daha çok etkilediği ölçülebilir. Etmen-temelli simülasyonlarda ise bu değişkenler kendi içlerinde değişiklik gösterir. Örneğin, belirli bir alanda yıllık ortalama yağış ve sıcaklık, bitki örtüsü tipi ve yoğunluğu, insan ve hayvan nüfusu, tarım tipi, toprak türü ve kalınlığı gibi değişkenler simülasyon başlatılmadan önce belirlenir. Simülasyon başladığında ise; bitki örtüsü yoğunluğu, insan ve hayvan nüfusu, toprak kalınlığı gibi değişkenler birbirleri arasındaki ilişkiler sonucunda simüle edilen her bir yıl için farklılık göstererek ilerler. Etmen-temelli modellerde kaç değişken olacağı ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerinin niceliği hem sayısallaştırılmış veri türünün genişliğine hem de kullanılan yüksek başarımlı hesaplama sisteminin (süper bilgisayar) kapasitesine bağlıdır. Ayrıca, her iki simülasyon tipinde de kullanılan mekânsal çözünürlük değeri simülasyonların süresini ve hazırladığı verinin boyutlarını etkilemektedir.

Arkeolojik verilerin paleo-çevresel verilerle bir arada kullanılarak etmen-temelli simülasyon yapmayı sağlayan platformlardan birisi de *MeDLanD Modeling Library*'dir (bundan sonra MML). MML tek bir platformda iklim (yıllık ortalama yağış, yağış olayı başına düşen yağış miktarı, yıllık ortalama sıcaklık), toprak kalınlığı, topoğrafya, insan ve hayvan nüfusu, tarımsal üretimde kullanılan tahıl türleri, bitki örtüsü türü gibi değişkenleri toplar ve bunlar arasındaki ilişkilerin belirli bir zaman aralığında simüle edilmesini sağlar. MML sonuçları; hem sosyal (insan nüfusundaki değişimler, tarıma açılan arazi alanı, hayvancılık amacıyla kullanılan arazi alanı) açıdan, hem de ekoloji / ekosistem (bitki örtüsündeki değişimler, yüzey süreçlerdeki değişimler, toprak verimliliğindeki değişim) açısından değerlendirilebilecek veriler sağlar. Böylece bir bölgede, belirli bir zaman aralığında, sosyo-ekolojik sistemlerin karşılıklı etkileşimle nasıl evrildiğini, geçirilen evrimin süreçlerini, bu süreçlerin insan topluluklarının yanı sıra o alandaki fauna, flora ve jeomorfoloji üstüne etkilerini istatistiksel yöntemlerle ölçmeye yarayacak veriler sağlar. Bunun sonucunda, sadece sosyal sistemdeki değişiklik değil, aynı zamanda insanların çevre üstüne olan etkileri ve bu etkilerden sonra değişen çevreden insan topluluklarının

nasıl etkilendikleri daha detaylı olarak çalışılabilmektedir. Yukarıda sunulan özetten de anlaşılacağı gibi, MML geçmiş insan-çevre ilişkilerini çok boyutlu olarak canlandıran, bunların arasındaki ilişkileri uzun süreç (*longue durée*) perspektifinden (Braudel 1972; Redman – Kinzig 2003) değerlendiren ve bunların sonucunda toplumların çevresel faktörler karşısında direncini ölçen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

MML ile yapılan simülasyonlarda kullanılacak olan paleo-çevre verilerinin nasıl sağlanacağına kısaca değinmek yerinde olacaktır. Simülasyonun yapılacağı bölge için gerekli olan paleoiklimsel verinin yıllık ortalama değerler olarak, yağış ve sıcaklık için sağlanması gerekmektedir. Bu veriler sadece paleoiklim modellerinden alınabilmektedir (Arıkan 2014; Arıkan et al. 2016). Geçmiş dönemlerdeki toprak kalınlığı ve simülasyonun çalıştırılacağı alanın paleo-topoğrafyası için; o bölgede detaylı jeomorfolojik çalışmaların yapılmış olması ve bölgenin jeomorfolojik evriminin ayrıntılarıyla tespit edilmiş olması gerekmektedir. Bu verileri kullanarak, çalışılacak bölgenin paleo-topoğrafya haritası, coğrafi bilgi sistemleri (bundan sonra CBS) aracılığıyla günümüz topoğrafyasını gösteren uydu görüntüleri kullanılarak hazırlanabilir (Arıkan 2017: 242). Ayrıca, çalışılan bölgenin paleo-vegetasyonu hakkında da ayrıntılı veri gerekmektedir. Arkeolojik kazılarda bulunan bitki kalıntılarının botanik uzmanları tarafından çalışılmış ve elde edilen veriler ışığında çalışılan bölgenin geçmişteki belirli bir zaman diliminde hangi tip bitki örtüsüne sahip olduğu açığa çıkarılmış olmalıdır. Günümüzde ekologlar tarafından yapılan deneylerin sonucunda, bir bitki örtüsü içindeki bitki türlerinin hangi zinciri takip ederek birbirlerinin yerini aldıkları (*succession and climax*) bilinmektedir. Dolayısıyla, *t* zaman dilimindeki bitki örtüsünün geçireceği süreçleri modern gözlemleri kullanarak geçmiş için uygulamak mümkün olmaktadır. Yüzey süreçler için gerekli olan sediman bilgileri yukarıda değinilen çalışmalardan sağlanabilmektedir. Böylece simülasyonun çalıştığı dönem ve bölge içinde etki ettiği sedimanın topoğrafya ile olan ilişkisi çerçevesinde, hangi noktalardan erozyon ile taşınacağı ve hangi noktalara yığılabileceği, CBS ortamında simüle edilebilmektedir.

MML ile yapılan simülasyonlarda kullanılacak olan kültürel veriler ise kısmen simülasyonun yapılacağı yerleşme hakkında arkeolojik araştırmalardan çıkan sonuçlardan kısmen de etnoarkeolojik çalışmalardan alınmalıdır. İkinci kısımda açıklanan tahminler burada devreye girmektedir. Buna göre, simülasyonun yapılacağı kültür katındaki insan nüfusu hesabı temel olarak o kültür katında tanımlanan hane sayısı ile hesaplanmaktadır. Önasya'da yapılan etnoarkeolojik çalışmalar, arkeolojik yerleşmenin bir evresindeki hanelerin ortalama alanından, toplam hane nüfusunu hesaplamaya yönelik bazı formüller geliştirilmesini sağlamıştır (Kramer 1982; Kamp 2000). Buna göre hesap edilecek olan toplam hane nüfusundan o dönem için, o yerleşmedeki toplam insan nüfusuna ulaşmak mümkündür. Aynı etnoarkeolojik çalışmalar sayesinde hane büyüklüğü ve hayvan (koyun-keçi) nüfusu oranı da belirlenebilmektedir (Kramer 1982: 112-117). Bir başka tahmin, toplam nüfusun ihtiyaç duyacağı tarım arazisi alanıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar, Önasya'nın mevcut iklim şartlarının ortaya çıktığı Orta Holosen'den (M.Ö. 4000) bu yana bir kişinin, bir yıllık tarımsal gıda ihtiyacının (tohumluk olarak kullanılmak üzere

ayrılacak ekin de dahil) yaklaşık olarak 1.36 hektar araziden karşılanabileceği yönündedir (Kramer 1982; Zorn 1994). Simülasyonun çalıştırılacağı dönemde tarımı yapılan tahılların hektar başına sağladığı ürün 'kg/ha' cinsinden ifade edilmektedir. MML ile çalıştırılan simülasyonlarda tarım ve hayvancılık üretim metotlarında, gerçek dünyada var olan belirsizliği yansıtmak üzere, toplam üretime etki edecek rastlantısal olaylar da simülasyona eklenmiştir. Bunun sonucunda yıllık toplam üretim simülasyon başlatılmadan önce belirlenecek bir oranda rastlantısal olarak arttırılıp eksiltilebilmektedir.

MML, tüm bu verileri ve veriler arasında algoritmalarla tanımlanan ilişkileri kullanarak tanımlanan bölgede,  $t$  süresindeki değişimleri simüle eder. Simülasyon sonuçları her bir yıl için ayrı ayrı veya kümülatif / toplam olarak incelenebilir. Sonuçlar CBS ortamında bulunan haritalarda saklanır ve daha kapsamlı analizler için de kullanılabilir. MML sonuçları, dört ana başlıkta incelenebilir. Bunlardan birincisi, simülasyonun çalıştırıldığı bölgedeki biyoçeşitlilik değişimidir. Bu başlık altında sağlanan sonuçlar simülasyon tamamlandığında insan faaliyetleri (tarım ve koyun-keçi gütmeye) sonucunda ne kadarlık alanda doğal bitki örtüsünün tamamen kaybolduğu, ne kadarlık alanın vejetasyondan tamamen arındırıldığı ve bitki örtüsü kompozisyonunda nasıl değişiklikler meydana geldiğidir. Bu sonuçlar, simülasyonu yapılan  $t$  süresi sonunda insan etkilerinin doğal çevre üstündeki etkilerini en iyi özetleyen başlıklardan birisidir. Biyoçeşitlilik, özellikle erken karmaşık toplumlarda (beylik, hanedanlık, şehir-devlet gibi) ekonomik üretkenliği doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelir. MML sonuçlarının incelenebileceği ikinci başlık, tarımsal ve hayvancılık üretim metotlarının getirisidir. Simülasyonun çalıştırıldığı  $t$  süresince yıl bazında veya kümülatif olarak her bir üretim metotunun getirisi kullanıcıya sunulmaktadır. Böylece yıl bazında ve toplamda, belirli bir alanda üretim potansiyelinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak çalışılabilmektedir. Bu sonuçlar, hangi üretim tipinin zaman içinde daha çok getiri sağladığını göstermesi yanında çevreye olan etkilerinin de anlaşılması açısından önemlidir. MML sonuçlarının incelenebileceği üçüncü başlık yüzey süreçlerdir. Hem insan faaliyetlerinin hem de doğal sebeplerle oluşan değişimlerin (iklim gibi) erozyon ve yığılma olaylarına etkisi MML tarafından simüle edilerek yıl bazında ve toplam olarak haritalanmaktadır. Böylece simülasyon,  $t$  süresi sonunda hangi noktaların erozyondan etkilendiğine, dolayısıyla üretim potansiyeline olan etkilerine dair veri sağlamaktadır. Yüzey süreçler yukarıda açıklandığı gibi stokastik simülasyonlar aracılığı ile de simüle edilebilmektedir. Buna rağmen MML gibi etmen-temelli modellerin simüle ettiği yüzey süreçler gerçeğe daha yakın sonuçlar sağlamaktadır çünkü etmen-temelli simülasyonlarda insan faaliyetlerinin bitki örtüsüne ve bunların da sedimanın taşınabilirliğine etkisi ayrıca hesaplanmaktadır. Bunun gibi çok boyutlu ilişkiler sadece etmen-temelli simülasyonlar ile gözlemlenebilmektedir. Son olarak, MML sonuçları insan nüfusundaki genel değişimleri de yıl bazında ve kümülatif olarak hesaplamaktadır. Bu hesaplamalarda her hanenin yıllık tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinden elde ettiği gelir kilokalori cinsinde hesaplanarak, o hanedeki nüfusun kilokalori ihtiyacı ile karşılaştırılır. Eğer üretim ihtiyacın %10 üstünde olursa, o yılın sonunda haneye bir birey eklenirken

üretim ihtiyacın %10 altında kalırsa o yılın sonunda haneden bir birey çıkarılır. Yıllık üretimdeki değişim bu sınırların altında kalırsa hanedeki birey sayısı değişmez. MML simülasyonlarında hane nüfusu ve toplam nüfus sayısındaki değişimler, özellikle kümülatif ölçekte önemlidir. Bu değişimlerin gözlemlenmesi sonucunda hangi üretim metodlarının hangi zaman diliminde üretime olan etkilerini ve bu etkilerin insan nüfusunda yaptığı değişimleri canlandırma imkanı vermektedir.

MML sonuçları geçmiş insan topluluklarının ekonomi ve nüfus alanındaki değişimleri hakkında hem simüle edilen yıl bazında hem de kümülatif olarak kapsamlı veriler sağlar. Aynı zamanda insan faaliyetlerinin çevre üstündeki etkilerinin anlaşılması için gerekli olan yüzey süreçlerdeki değişim ve biyoçeşitlilikteki farklılaşmalar hakkında da niceliksel sonuçlar üretmektedir. Bu veriler ışığında simülasyonlar değerlendirildiğinde, geleneksel yöntemlerle toplanan verilerin standart metodlarla değerlendirilmesinden çok daha farklı konularda yorumlar yapmak mümkün olmaktadır. Bunlardan birisi, zaman içinde üretim potansiyellerinin değişimidir. Tarım ve hayvancılık alanlarındaki üretim potansiyeli değişimi nüfus büyümesine etki ederek sosyal organizasyondaki değişimlere dolaylı katkıda bulunmaktadır. Erken karmaşık topluluklara (beylikler, şehir-devletler) kıyasla daha karmaşık sosyal organizasyona sahip topluluklar (bölgesel krallıklar, imparatorluklar); yüksek nüfus yoğunluğu barındıran, bu nüfusu sadece beslemekle yetinmeyip aynı zamanda üretken bir yapıya dönüştürerek bu yoğun üretime farklı yerlerden hammadde sağlayabilen ve bunu belirli bir zaman sürdürebilen topluluklardır. Dolayısıyla, sosyal yapıda giderek karmaşık bir yapıya geçişin altında temel üretim dinamiklerinin verimliliği vardır. MML, bu verimliliğin zaman ve mekan ölçeklerinde test edilmesi için önemli bir metod olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca MML, her bir üretim metodu hakkında veri sağlayarak, sürekli değişen çevresel şartlar altında hangisinin daha verimli olduğu konusunda da bilgi sunmaktadır. Biyoçeşitliliğin hem insan faaliyetleri sonucunda hem de yüzey süreçler etkisiyle değişimi sonucunda, sadece üretim potansiyeli değil, aynı zamanda çevresel dinamiklerdeki değişim de çalışılabilir hale gelmektedir. Modelleme ve simülasyon olmadan bu karmaşık ve dinamik ilişkilerin sonuçları hakkında bilgi sahibi olmamız mümkün değildir ki, bu simülasyonun en önemli özelliğidir. Simülasyonlar, karmaşık yapıların sonucu olan ve ancak değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri sonucunda gözlemlenebilecek özellikleri (*emergent properties*) ortaya çıkartırlar. Son olarak, MML sonuçları sayesinde arkeolojide çok yaygın olarak kullanılan senaryoları test etme imkanı doğmaktadır. Buna en iyi örnek 'çöküş' senaryolarıdır. Genellikle iklimsel değişikliklere veya ilişkili süreçlere dayanan bu senaryoların herhangi bir yerleşmede, belirli bir zamanda, tanımlanan çevresel, ekonomik ve nüfus şartlarında oluşup oluşmayacağı simülasyonlar yardımıyla test edilebilir. Çöküşün gerçekleşip gerçekleşmeyeceği, hangi süreçlerin etken olacağı, bir sonraki sürece geçişte hangi olayların başat rol oynayacağı simülasyonlarla gözlemlenebilir.

## **Sonuç ve Değerlendirme**

Modeller ve simülasyonlardan elde edilen bilgiyi sadece arkeologlar ve benzer konularla ilgilenen kitlenin dışında, daha geniş bir grupta paylaşmak esastır. Bu amaçla, modellerin ve simülasyonların geçmiş insan topluluklarının yaşayışına geniş anlamda ışık tutması, onların karşılaştıkları sorunlara getirdikleri çözümleri göstermesi, geçmiş toplulukların hatalarını açığa çıkarması, bunlardan elde edilen çıkarımların modern topluluklara anlatılması öne çıkmaktadır. Böylece hem arkeolojinin halka daha anlaşılır bir şekilde aktarılmasını sağlar hem de arkeolojik araştırma sonuçlarının toplumun daha geniş bir kesiminin ilgilenebileceği, bilgisini arttırabileceği bir hale getirmiş oluruz.}

Her ne kadar geçmiş ve modern insan topluluklarının çevre ile olan ilişkileri ve çevreye etkileri farklı ölçekte seyretse de, bu ilişkilerin tarihini göz önüne sermek hafızası kısıtlı olan insan için önem kazanmaktadır. Ayrıca, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler açısından bu ilişkilerin tarihi ayrı bir önem kazanmaktadır zira ekonomik üretim (tarım ve hayvancılık) bazı bölgelerimizde hala geleneksel yöntemlerle sürdürülmektedir. Bu üretim metotlarının aynı topraklar üstünde binlerce yıl önceki etkilerinin simülasyonlar aracılığı ile çalışılıp sonuçlarının paydaşlara aktarılması arkeolojinin modern topluma yapacağı en büyük katkılardan birisi olacaktır. Böylece, hem ülkemizde uygulanan arkeoloji çok daha geniş bir etki alanına sahip olacaktır hem de bazı kritik konularda karar vericilere detaylı bilgi sunması nedeniyle kararların doğru yönde alınmasına katkısı olacaktır.

## Kaynakça

Arıkan, B. 2014

“Modeling the Paleoclimate (ca. 6000-3200 cal BP) in Eastern Anatolia: The Method of Macrophysical Climate Model and Comparisons with Proxy Data”, *Journal of Archaeological Science* 57: 158-167.

Arıkan, B. – F. Balossi – A. Massi 2016

“Comparative Modeling of Bronze Age Land Use in the Malatya Plain (Turkey)”, *Quaternary Science Reviews* 136: 122-133.

Arıkan, B. – F. Balossi – A. Massi 2017

“Crisis in the Highlands. Agent-based Modeling of the Early Bronze Age-I (ca. 4950-4700 cal. BP) Socio-economic Transformations at Arslantepe (Eastern Anatolia)”, T. Cunningham – J. Driessen (eds.), *Crisis to Collapse. The Archaeology of Societal Breakdown*, AEGIS 11, UCPress Louvain: 235-250

Barton, C. M. – I. I. T. Ullah – S. Bergin 2010a

“Land use, Water, and Mediterranean Landscapes: Modeling Long-term Dynamics of Complex Socio-ecological Systems”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*: 5275-5297.

Barton, C. M. – I. I. T. Ullah – H. Mitasova 2010b

“Computational modeling and socioecological dynamics in the Neolithic of Southwest Asia”, *American Antiquity* 75 (2): 364-386.

Barton, C. M. – I. I. T. Ullah v – A. Heimsath 2015

“How to Make a Barranco: Modeling Erosion and Land-use in Mediterranean Landscapes”, *Land* 4 (3): 578-606.

Binford, L. R. 1962

“Archaeology as Anthropology”, M. Leone (ed.) *Contemporary Archaeology*, Southern Illinois University: 93-101.

Binford, L. R. 1965

“Archaeological Systematics and the Study of Culture Process”, M. Leone (ed.) *Contemporary Archaeology*, Southern Illinois University: 125-132.

Binford S. – L. R. Binford 1968

*New Perspectives in Archaeology*, Chicago.

Braudel, F. 1972

*The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II* (2 vol.s), Los Angeles.

Costopoulos, A. – M. W. Lake (eds.), 2010

*Archaeological Simulation: Into the 21st Century*, Utah.

Fontana, W. – P. Schuster 1997

“Continuity in Evolution: On the Nature of Transitions”, *Science* 280 (5368): 1451-1455.

Gunderson, L. H. 2000

“Ecological Resilience – In Theory and Application”, *Annual Review of Ecology and Systematics* 31: 425-439.

Holling, C. S. 1973

“Resilience and Stability of Ecological Systems”, *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 1-23.

Kohler, T. – G. Gumerman (eds.) 1999

*Dynamics in Human and Primate Societies*, New York.

- Kamp, K. 2000  
“From Village to Tell: Household Ethnoarchaeology in Syria”, *Near Eastern Archaeology* 63 (2): 84-93.
- Kramer, C. 1982  
*Village Ethnoarchaeology*, New York.
- Lake, M. W. 2015  
“Explaining the Past with ABM: On Modeling Philosophy”, G. Wurzer, K. Kowarik, H. Reschreiter (eds.) *Agent-based Modeling and Simulation in Archaeology*, Switzerland: 3-35
- Lake, M. W. – J. Venti 2009  
“Quantitative Analysis of Macroevolutionary Patterning in Technological Evolution: Bicycle Design from 1800 to 2000”, S. J. Shennan (ed.) *Pattern and Process in Cultural Evolution*, Berkeley, 147-174.
- Morgan, L. H. 1877  
*Ancient Society*, Chicago.
- Redman, C. L. 1999  
*Human Impact on Ancient Environments*, Tucson.
- Redman, C. L. 2005  
“Resilience Theory in Archaeology”, *American Anthropologist* 107 (1): 70-77.
- Redman, C. L. – A. P. Kinzig 2003  
“Resilience of Past Landscapes: Resilience Theory, Society, and the Longue Durée”, *Ecology and Society* 7 (1): 14.
- Schiffer, M. B. 1983  
“Toward the Identification of Formation Processes”, *American Antiquity* 48 (4): 675-706.
- Schiffer, M. B. 1987  
*Formation Process of the Archaeological Record*, Albuquerque.
- Steward, J. 1951  
“Levels of Sociocultural Integration: An Operational Concept”, *Southwestern Journal of Anthropology* 7 (4): 374-390.
- Steward, J. 1953  
“Evolution and Process”, A. L. Kroeber (ed.), *Anthropology Today* Chicago: 313-325.
- Steward, J. 1972  
*Theory of Culture Change. The Methodology of Multilinear Evolution*, Urbana-Champaign.
- Trigger, B. 1989  
*A History of Archaeological Thought*, Cambridge.
- Tylor, E. B. 1881  
*Anthropology: An Introduction to the Study of Man and Civilization*, London.
- van der Leeuw, S. – J. McGlade 2010  
*Time, Process and Structured Transformation in Archaeology*, London.
- White, L. 1959 *The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome*, New York.
- Zorn, J. R. 1994 “Estimating the Population Size of Ancient Settlements: Methods, Problems, Solutions, and A Case Study”, *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 295: 31-48.

