

[1121]

İLK TUNÇ ÇAĞI-I EVRESİNDE (G.Ö. 4950 - 4700) ARSLANTEPE'DEKİ SOSYO-EKOLOJİK DİNAMİKLER: ETMEN TEMELLİ MODELLEMEDE İLİŞKİLİ SİSTEMLER YAKLAŞIMI

Hazel KAVILI

İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 34469, Maslak, İstanbul, kavili16@itu.edu.tr

ÖZET

Erken ve Orta Holosen süresince Yakın Doğu'da meydana gelen iklimsel değişimler ve bunların insan topluluklarına etkisi yoğun tartışmalara konu olmaktadır. Bilimsel tartışmalar ve yaklaşımlar bu toplulukların açlık nedeniyle tamamen yok olmuş olabileceğinden geriye kalan kaynakların izini sürmüş olabileceklerine ve nihayet adaptasyon odaklı değişiklikler göstermiş olabilecekleri varsayımları arasında çeşitlilik göstermektedir. Malatya-Elazığ Ovası'nda bulunan Arslantepe höyüğü Tunç Çağı boyunca Mezopotamya, Kafkaslar ve Orta Anadolu bölgelerini birbirine bağlamıştır. Yarım yüzyılı aşkın bir süreden beri devam eden arkeolojik kazılar sonucunda Arslantepe yerleşmesi insan topluluklarının adaptasyona yönelik kapasiteleri ve çeşitli konulardaki karar verme mekanizmaları hakkında yoğun veri sağlamaktadır. Yerleşme civarında gerçekleştirilen yoğun paleoçevresel araştırmalara dayanarak, yerleşmenin İlk Tunç Çağı-I evresindeki ilişkili sistemlerin (sosyal ve ekolojik) modellenmesi çalışmalarına ait ilk bulguları konu alacaktır. Bu çalışmada kullanılan etmen-temelli modelleme yöntemi ile; Son Kalkolitik (G.Ö. 5300 – 4950) dönemdeki yoğun nüfuslu, tarıma dayalı hiyerarşik organizasyona sahip topluluktan İlk Tunç Çağı-I evresindeki (G.Ö. 4950 – 4700) düşük nüfuslu, hayvancılık tipi ekonomiye ve heterarşik sosyal organizasyona geçişin çevresel etkileri aydınlatılmaya çalışılmaktadır. Yerleşmeyi konu alan çeşitli çevresel (iklim ve bitki örtüsü gibi) ve sosyal senaryoların sonuçları da çalışmada yer almaktadır. Bu senaryoların karşılaştırılması ile İlk Tunç Çağı-I evresi sosyal, ekonomik ve politik organizasyonun Arslantepe'deki değişimine hangi faktörlerin etki ettiği araştırılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Ajan Bazlı (Etmen Temelli) Modelleme, Hesaplamalı Modelleme, Simülasyon

ABSTRACT

SIMULATING THE SOCIOECOLOGICAL DYNAMICS AT ARSLANTEPE DURING THE EARLY BRONZE AGE-I PHASE (ca. 4950 – 4700 cal BP): A COUPLED SYSTEMS APPROACH IN AGENT-BASED MODELING

The early and middle Holocene changes in the climate of the Near East and the impacts of these changes on the ancient societies that had inhabited various regions of it have been the foci of intensive debates. Scholarly discussions and approaches range from total annihilation due to starvation to habitat-tracking and adaptive changes through agency. The multi-period site of Arslantepe in Malatya-Elazığ Plain connected the Caucasus with Mesopotamia and Central Anatolia during the Bronze Age. More than half-century long archaeological expeditions at the site offer wealth of information on the adaptive capacity and the wide-range of decisions made by people at Arslantepe. Intensive paleoenvironmental research around the site provides detailed information for environmental change. Against this high-resolution archaeological and paleoenvironmental research background at Arslantepe, this study will present the results of coupled systems (i.e., social and ecological) modeling for the Early Bronze Age-I phase of Arslantepe. The agent-based modeling approach used in this research is expected to shed light on the reasons for the transformation from hierarchically organized Late Chalcolithic (ca. 5300 – 4950 cal. BP) society to the emergence of site-tethered pastoralism after major de-population at the site, during the Early Bronze Age-I phase. The first half of the study will focus on what coupled systems modeling is and explaining the agent-based modeling approach. The results of various environmental (i.e., climate and land cover) and social scenarios will be presented in the second half of the study. Through comparisons of these scenarios, alternative explanations may emerge as to what factors might have contributed to major changes in the social, economic, and political organization at Arslantepe from the Late Chalcolithic to the Early Bronze Age-I phase.

Keywords: Agent Based Modeling, Computational Modeling, Simulation

1.GİRİŞ

Sosyal bilimler akademik disiplinler arasında büyük bir yere sahip. Temel sosyal bilimler olarak ekonominin, siyasi bilimlerin, beşeri coğrafyanın gösterilmesinin yanında antropoloji, arkeoloji, tarih ve dil bilimleri de büyük öneme sahiptir. Ve geçen onlarca yıl boyunca sosyal bilimlere olan ilgili artmaya devam ederken matematik, istatistik ve programlamanın yardımıyla daha ilgili çekici bir alana dönüştüğü görülmüştür.

Sosyal bilimlerdeki geleneksel araştırma yöntemleri konulara büyük ölçüde kendi alanı özelinde yaklaşırken, yeni

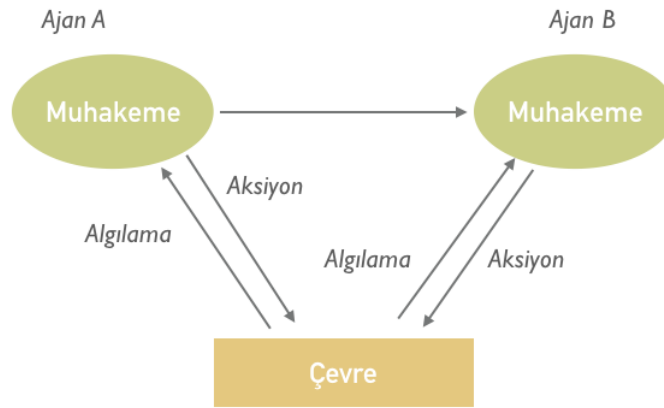
araştırma yöntemleri konulara büyük ve karmaşık sistemler olarak yaklaşabilmektedir. Sosyal ve ekolojik sistem arasındaki etkileşimleri inceleyebilmektedir. Bu etkileşimler hazırlanan algoritmalar ile modellenilebilmekte, incelenebilmekte, veri toplanması ve istatistiksel testler uygulanmasıyla hipotezlerinin doğruluğu ve anlamlılığı test edilebilmektedir. Yeni yaklaşımlar sayesinde sosyal çıkarımlar ve gelecek için tahminler yapılabilmektedir. Bu çıkarımlar ve tahminler, günümüzde yaygın olarak uygulanan modelleme ve modellemenin en çok kullanılan uygulama yöntemlerinden olan simülasyon teknikleri ile gerçekleştirilebilir.

Bu çalışma, sosyo-ekolojik anlamda büyük öneme sahip Malatya-Elazığ Ovası'ndaki Arslantepe höyüğünü ve orada yaşamış insan topluluklarının karar verme sürecini aydınlatması açısından gerçekleştirilmiştir. Simülasyon tekniği olarak kullanılan ajan bazlı modelleme yöntemi ile önceden hazırlanan çeşitli senaryolar incelenmiş ve hazırlanan senaryoların karşılaştırılması ile İlk Tunç Çağı-I evresi sosyal, ekonomik ve politik organizasyonun Arslantepe'deki değişimine hangi faktörlerin etki ettiği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

1.1.Etmen Temelli Modelleme

Etmen temelli modelleme (ABM, ETM) karmaşık sistemleri modellemek için birbiri ile etkileşimde bulunan otonom etmenlerden oluşmuş bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım sosyal, ekonomik ve çevresel değişkenlerin zaman ve mekan bazında değişimlerini göstermektedir.

Burada etmen ya da ajan olarak bahsedilen otonom oluşumlar nesnelere gibidir. Bu nesnelere birbirleriyle ve çevreyle etkileşim halindedir. En önemli özellikleri hedef odaklı, tepki veren ve diğer nesnelere etkileşim halinde olmalarıdır.



Şekil 21. İki ajan ve çevre arasındaki etkileşime bir örnek

1.2.MedLanD Modelleme Kütüphanesi (MedLanD Modeling Laboratory – MML)

Etmen temelli modelleme platformu (MedLanD Modeling Laboratory) arkeolojik yerleşmeleri temel alan, paleoçevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri o bölgelerdeki etnoarkeolojik ve ekolojik araştırmalar ışığında matematiksel algoritmalarla dönüştürerek sayısallaştıran bir bilgisayarlı modelleme programıdır. Akdeniz Havzası'nın farklı noktalarına ve farklı arkeolojik dönemlerine başarıyla uygulanmıştır.

MML, diğer ajan bazlı modelleme platformlarına göre daha fazla ve farklı gruplardan veriyi sentezleme ve hesaplama kapasitesine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle etkin olarak kullanılabilecek bir modelleme platformudur.

Etmen temelli model oluşturma kısmı JAVA programında yazılmış olup ve kullanılması gerekli diğer programlar Python, C ve haritalar için GRASS programıdır.

2.ARSLANTEPE HÖYÜĞÜ

Tunç Çağı insan gruplarının çevre ile ilişkisi açısından oldukça önemli bir dönemdir. Topluluklar devletleşme yönündeki ilk örnekleri bu dönemde göstermişler, ilk şehirleşme de bu çağda ortaya çıkmıştır (Yoffee, 2005). Yine bu dönemde, önemli iklimsel faktörlerdeki belirgin değişiklikler Yakın Doğu'da şiddetli dönemsel kuraklıklara ve mevsimselliğin değişmesine neden olmuştur (Collective, 2007). Bu kuraklıkların Mezopotamya Ovası'nda yoğun

tarıma dayalı yaşayan toplumların sosyo-ekonomisini olumsuz etkilediği bilinse de Yakın Doğu'nun yüksek kısımlarında bulunan, daha esnek sosyo-ekonomik yapıya sahip hayvancılık veya tarım-hayvancılık yapan grupların bu değişikliklerden daha az etkilendiği görülmüştür (Rowton, 1976; LaBianca, 1990).

Yukarı Fırat Havzası da bu yüksek bölgelerden birisi olup arkeolojik ve etnoarkeolojik açıdan yoğun olarak çalışılmıştır. Bu nedenle bölge, Tunç Çağı tarım-hayvancılık toplumlarının evrimini çalışmak için en uygun "doğal laboratuvar" koşullarını sağlamaktadır. Bölgedeki arkeolojik yüzey araştırmaları İlk Tunç Çağı ekonomisinin yerleşik tarım-hayvancılık olduğunu göstermektedir (Frangipane, 2010b: 38). Bu ekonomi türünde farklı köylerde yaşayan gruplar hem tarım hem de koyun-keçi güdücülüğü yapmakta ve hayvanlarını otlatmak için köyden ayrılmaktadır (Barfield, 1993; Cribb, 1991; Johnson, 1969). Bu otlatma süreçleri gidilen otlığın köye uzaklığı ile doğrudan ilişkili olup kısa (birkaç gün) ya da uzun (birkaç hafta) sürmektedir. Bundan bağımsız olarak, sürüler birincil (et, deri) ya da ikincil (süt, yün, tezek) ürün sağlamak amacıyla daima köye dönmektedir.

Arslantepe, Malatya Ovası'nda Kalkolitik ve Tunç Çağı'nı kapsayan birçok yerleşimden birisidir. Fırat'ın yaklaşık on beş kilometre batısındaki höyük en yoğun olarak Son Kalkolitik (M.Ö. 3,800, Tabaka VII) ve İlk Tunç Çağı III (M.Ö. 2,000, Tabaka VI D) arasında yerleşmiştir (Frangipane, 2010a; 2010b). Bölgedeki en büyük höyük olan Arslantepe'de arkeolojik araştırma ve kazılar elli yılı aşkın süredir devam etmektedir. Disiplinlerarası çalışmalar yapan araştırma ekibi zooarkeolojiden paleoetnobotaniye, seramik araştırmalarından mimari çalışmalarına birçok farklı alanda bilgi toplamıştır (Dreibrodt et al., 2012; Masi et al., 2012a; Bartosiewicz, 2010; Palumbi, 2010).

2.1.Arslantepe'de Paleoçevre, Yerleşme ve Ekonomi

2.1.1.Paleoçevre

Arslantepe'de yürütülen ve Holosen döneme ait paleotoprak katmanları üstünde yoğunlaşan jeoarkeolojik araştırmalar Son Kalkolitik ortasından itibaren (M.Ö. 4,200) erozyonda bir artış olduğunu ortaya çıkarmış ancak bunun sebepleri tam olarak anlaşılammıştır (Dreibrodt et al., 2012: 423, 427). Zooarkeolojik analizler Arslantepe VI A döneminde ayı ve geyik türleri azalırken tavşan nüfusundaki artışı ortaya çıkarmıştır (Bartosiewicz, 2010: 126-127). Bu, bölgedeki yarı-açık iğne yapraklı orman örtüsünün açık çayır örtüsüne döndüğüne işaret etmektedir. Bu değişim Höyük'teki yapılarda kullanılan ağaç çeşitlerinin zaman içindeki değişiminden de izlenmiştir (Alvaro, 2010; Bartosiewicz, 2010). Yine de bu dönem yerleşiminin daha yağışlı ve nemli bir iklim altında olduğu yoğun hidrofil bitki varlığından anlaşılmaktadır (Masi et al., 2012a; 2012b). Bu bitkilerin varlığı aynı zamanda Höyük yakınlarında sulak alanın varlığını belgelemiştir (Sadori and Masi, 2012: 443). Meşe kalıntılarına uygulanan karbon izotop analizleri bu sonuçları doğrularak, iklimsel anomalinin ve kuraklığın başlangıcını M.Ö. 3,200 tarihine koymuştur (Masi et al., 2012a: 7). Arslantepe VI B-1 dönemi iklimi temel olarak higrofil otlardan gözlemlenmiştir (Masi et al., 2012a; 2012b). VI B-2 döneminde higrofil bitki nüfusu belirgin olarak artmış ve bu artış Son Kalkolitik dönemde yerleşim yakınlarındaki sulak alanın seyrek ağaçlı step tarafından kaplandığına işaret etmiştir (Sadori and Masi, 2012: 443). Bu değişimin esas nedenleri anlaşılammakla birlikte nemlilikte keskin bir düşüş ya da yoğun antropojenik etki üstünde durulmaktadır (Masi et al., 2012a: 7). Arslantepe VI C (İlk Tunç Çağı II, M.Ö. 2,750-2,500) ikliminde yükselen nemlilik ve iklimsel anomalinin kaybolması M.Ö. 2,800-2,300 arasında şartların iyileştiğine işaret etmektedir (Masi et al., 2012a; Sadori & Masi, 2012). Bu durum Arslantepe VI D (İlk Tunç Çağı III, M.Ö. 2,500-2,000) katında bulunan meşe kalıntılarına uygulanan karbon izotop analizi sonuçları ile doğrulanmıştır. Bu sonuçlar ışığında Arslantepe VI D, İlk Tunç Çağı'nın en nemli ve yağışlı dönemi olarak kabul edilmiştir (Sadori & Masi, 2012: 444).

2.1.2.Yerleşme

Arslantepe Tabaka VII (Son Kalkolitik, M.Ö. 3,800-3,400) yerleşimi yaklaşık 4 hektar olup hemen hemen tüm höyük yüzeyini kaplamaktadır. Tapınak C yapısı tüm yerleşime hakimdir (Restelli, 2012; Frangipane, 2010a). Diğerlerine oranla büyük ve gösterişli olan yapı ise olasılıkla topluluğun liderine aittir ve yerleşimde sosyal farklılaşmanın ilk işaretlerini vermektedir. Arslantepe VI A (Geç Kalkolitik, M.Ö. 3,350-3,000) döneminde sosyal değişimin hızı artmıştır. "Saray" yapısı yerleşime tamamen hakimdir ve önceki dönemde başlayan sosyal farklılaşmanın arttığına, seçkinlerin sosyal ve ekonomik olarak güçlendiğine işaret etmektedir (Frangipane, 2012a; 2010b). Standart üretim seramik kapların, mühür izi kalıntılarının ve depolama alanlarının sayısındaki artış bu dönemde yerleşimde ekonominin merkezleştiğini göstermektedir (Frangipane, 2010c: 298). Özellikle tapınak planları ve standart üretim seramik kaplar Arslantepe ile Suriye-Mezopotamya kültürleri arasında önemli benzerlikler göstermektedir (Frangipane, 2012a: 27-29). Yoğun bir yangın tahribatından sonra, Arslantepe VI B (İlk Tunç Çağı I, M.Ö. 3,000-2,750) başlamıştır. Bu dönemin ilk evresi (VI B-1, M.Ö. 3,000-2,900) önceki döneme göre oldukça küçüktür (Frangipane, 2012b: 240). Yapı tipi ve inşaa kalitesi bu dönem yerleşiminin mevsimsel olabileceğini düşündürmektedir (Alvaro, 2010; Frangipane, 2010c). Bu sonuçlar, bir önceki dönemde

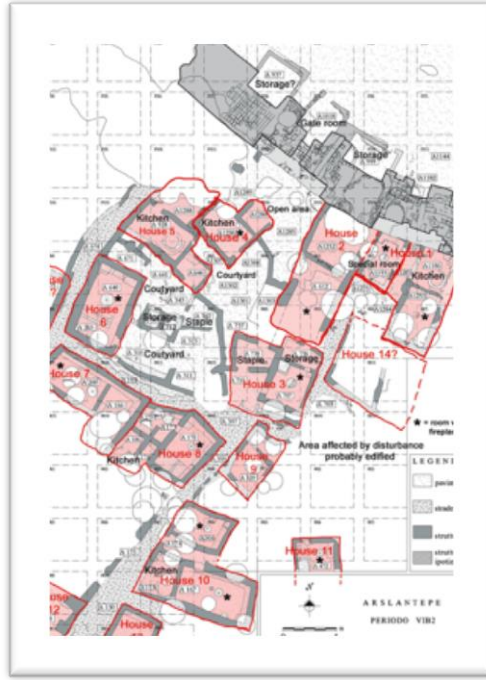
sosyal organizasyondan ortaya çıkan merkezileşmenin kaybolduğuna işaret etmektedir. Takip eden evrede (VI B-2, M.Ö. 2,900-2,800) büyük bir değişim sonucu yerleşim planlı, dar sokaklı, kerpiç yapılı bir köye dönüşmüş ve bir sur duvarı ile çevrilmiştir (Alvaro, 2010: 53). Yine bu dönemde grubun liderine ayrılan alandaki kazılar büyükçe bir yapı ve bunun yakınında bir “Kral Mezarı” ortaya çıkarmıştır (Frangipane, 2012b: 251). Gömü tipi ve hediyeleri yerleşimin Kafkas bağlantıları olduğunu ortaya koymaktadır (Frangipane, 2010c: 302). İlk Tunç Çağı'nın son evresi (VI B-3, M.Ö. 2,800-2,750) önceki evreyi sona erdiren büyük bir yangından sonra, Höyük'te göçer hayvancılık yapan büyük bir grubun yerleşmesiyle başlamıştır (Frangipane, 2012b: 240).

2.1.3. Ekonomi

Arslantepe'nin Son Kalkolitik dönem ekonomisi giderek artan oranda tarımsal üretime dayanmaktadır (Restelli et al., 2010: 103). Özellikle Tabaka VI A'da bulunan altı sıralı arpa sulu tarıma işaret etmekte, seçkinlerin ekonomik kontrolünün arttığı bu dönemde daha çok üretim sağlamak ve bunu da ekonomiyi merkezileştirmek için kullandıklarını düşündürmektedir (Restelli et al., 2010: 112). Arkeolojik çalışmaların ışığında, İlk Tunç Çağı II (Tabaka VI C, M.Ö. 2,750-2,500) döneminde ekonomi tamamen göçer hayvancılığa yönelmiştir (Siracusano & Bartosiewicz, 2012: 120-121). Bu değişimin bir sebebi Arslantepe'nin bölgesel bağlarının Mezopotamya'dan kuzeydoğu Anadolu ve Kafkaslar'a yönelmesi (Frangipane, 2012b) olsa da İlk Tunç Çağı'nın başlamasıyla ortaya çıkan bu ekonomik merkezîyet karşıtı durum büyük oranda paleoçevresel (özellikle yağış ve nem) şartlardaki değişimlerin sonucudur (Sadori & Masi, 2012: 444). Bu nedenle, İlk Tunç Çağı I, yoğun tarım topluluğundan (Son Kalkolitik, Tabaka VI A) göçer hayvancılık topluluğuna (İlk Tunç Çağı II, Tabaka VI C) geçişi temsil etmektedir (Palumbi 2012; Siracusano & Bartosiewicz, 2012). İlk Tunç Çağı I (VI B, M.Ö. 3,000-2,750) sırasında tarım ve hayvancılık ekonomileri arasında yaşanan gidiş gelişler sosyo-ekonomik adaptasyonun bu evrede gerçekleştiğini göstermiştir (Frangipane, 2012b; Siracusano & Bartosiewicz, 2012; Palumbi, 2012). İşte bu adaptasyon sürecinde ortaya çıkan ve VI B'ye hakim olan ekonomi tipi yerleşik tarım-hayvancılıktır. Arslantepe VI B-1'de bulunan hayvan kalıntıları koyun ve keçi nüfusunda artış göstermekte (Siracusano & Bartosiewicz, 2012: 118), gerek süt üretimi gerekse mevsimsel yerleşik hayvancılık ekonomisinin başladığına işaret etmektedir (Palumbi, 2012: 262). Buna karşın, Arslantepe VI B-2'de bulunan sur duvarı bu dönemde Malatya Ovası'nda tarımcı ve hayvancı grupların birlikte yaşama mücadelesi verdiğini göstermektedir (Frangipane, 2012b: 240). Bu dönemde bulunan tohum sayısındaki artış hayvan nüfusun daha çok et kaynağı olarak tutulduğunu göstermektedir (Siracusano & Bartosiewicz, 2012; Restelli et al., 2010). Arslantepe VI B-3 ise tarımcılıktan hayvancılığa geçişi göstermektedir (Frangipane, 2012b: 240). Sonuç olarak, Arslantepe'de İlk Tunç Çağı I döneminde bulunan topluluğun değişen çevre koşullarına, farklı evrelerde (VI B-1, 2, 3) farklı oranlarda tarım ve hayvancılık yaparak, sürekli değişken bir ekonomik sistem kullanarak adapte ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 22. Arslantepe Son Kalkolitik (Tabaka VI A, M.Ö. 3350 - 3000) yerleşme planı (Marcella Frangipane'nin izniyle)



Şekil 23. Arslantepe İlk Tunç Çağı-I B (Tabaka VI B 2, M.Ö. 2900 2750) yerleşme planı (Marcella Frangipane'nin izniyle)

2.2. Arslantepe Simülasyonları için Hazırlanan Senaryolar

Arslantepe ajan bazlı toprak kullanım modelleri açısından büyük bir öneme sahiptir. Yoğun ve uzun süreli arkeolojik araştırmalar, farklı verilerin toplandığı geniş ve kapsamlı veri tabanları (arkeolojik, paleobotanik, zooarkeolojik, ve jeoarkeolojik) insan topluluklarının toprak kullanımına yönelik araştırma yapanların kullanımına açıktır. Bu açılardan, yerleşme uzun zaman ölçeğinde gözlemlenen farklı insan davranışlarının toplanmasında bir “doğal laboratuvar” fonksiyonuna sahiptir ve bu özelliği ile insan-çevre ilişkilerini konu alan modelleme araştırmaları için çok önemlidir. Bu veri tabanları yerleşik tarım-hayvancılık tipi ekonominin biyoçeşitlilik, toprak kaybı-yığılması ve nüfus değişiklikleri üstüne etkilerinin modelleneceği deney protokollerinin hazırlanmasını ve bu tip ekonominin farklı iklim değişiklikleri karşısında direncini test edilmesini olası kılmaktadır.

Arslantepe bölgesinin paleoçevre, yerleşme, ekonomi, nüfus ve iklim özellikleri dikkate alınarak, ajan bazlı modelleme simülasyonları hazırlanırken aşağıdaki senaryo kombinasyonları dikkate alınmıştır. Simülasyonların herbiri 250 yıllık bir dönem için çalıştırılmıştır.

Çizelge 2. Simülasyonlarda kullanılan senaryo kombinasyonları

İklim Tipi	Nüfus Yoğunluğu	Bitki Örtüsü Tipi
Kurak	Normal	Açık orman step
Yağışlı	Düşük	Çayır
Geçişli	Yüksek	Otlak

Çizelge 3. Simülasyonları başlatmak için kullanılan Arslantepe VI B-1 evresine (M.Ö. 3000-2900) ait farklı nüfus yoğunluğu senaryoları

Hane Sayısı	Hane Başına Nüfus	Toplam Nüfus	Nüfus Yoğunluğu
3	4	12	Düşük
6	4	24	Normal
9	4	36	Yüksek

Çizelge 4. Açık orman step bitki örtüsü senaryoları için hazırlanmış bitki örtüsü döngüsü

Bitki Örtüsü Tipi	Geçerlilik Yılı	Bitki Örtüsü Tipi	Geçerlilik Yılı
Bitki örtüsüz toprak	0	Çim yoğun step ve seyrek çalı	17
Çok seyrek çim	2	Çim yoğun step ve orta seyrek çalı	20
Orta seyrek çim	4	Çim yoğun step ve çalı	23
Orta yoğunlukta çim	6	Uzun çalı step	26
Çim	8	Uzun çalı step ve çok seyrek ağaçlar	29
Orta yoğunlukta çim ve seyrek otlar	10	Uzun çalı step ve orta seyrek ağaçlar	32
Orta-yoğun çim ve otlar	12	Uzun çalı step ve seyrek ağaçlar	34
Çim yoğun step	14	Uzun çalı step ve seyrek ağaçlar	35

Planlar üstünden yapılan ölçümlere ve Yakın Doğu'daki etnoarkeolojik verilere dayanarak (Kamp, 2000; Kramer, 1982; Watson, 1979), her hanede en fazla dört bireyin yaşamış olabileceği kabul edilmiştir. Bu noktadan hareketle, düşük-normal-yüksek nüfus yoğunluğu senaryolarını oluşturmak için kullanılan hesaplamalar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 3'teki tabloya benzer şekilde Çayır ve Otlak tipi bitki örtüleri için de döngüler hazırlanmıştır. Tablo 1'de bahsi geçen İklim Tipi verileri ise Yukarı Fırat Havzası'nda daha önce yürütülen bir araştırma projesinin sonuçlarından elde edilmiş olan Makrofiziksel İklim Modeli'ne ait verilerdir. Tunç Çağı ikliminin kuzey Mezopotamya'da oldukça karmaşık ve yerel ölçekte işlediği göz önüne alındığında MİM sonuçlarının sağladığı sayısal değerlerin zaman-mekan boyutlarında yağış ve sıcaklık değerlerindeki değişimi kuantitatif olarak anlama imkanı verdiği açıktır.

Makrofiziksel İklim Modeli sonuçları Geç Kalkolitik (M.Ö. 4,000) ve İlk Demir çağları (M.Ö. 1,000) arasında yukarı Fırat ve Dicle havzalarında yıllık medyan yağış 373 milimetreye kadar düşüş olmuş olabileceğini ortaya koymaktadır ki bu değer Yukarı Fırat Havzası'nda üç bin yıllık süreçte oldukça büyük bir yağış açığı oluşması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, Tunç Çağı sonuna kadar sıcaklık değerlerinde yıllık medyan 0.6 derece Santigrad bir artış olabileceğini göstermektedir. Bu değişiklikler birlikte ele alındığında buharlaşma oranının oldukça yükselmiş olabileceği ve bunun da ciddi derecede iklim değişikliğine yol açmış olabileceği ortaya çıkmıştır. İklimdeki bu değişiklikler, sulı tarımın uygulanma imkanının olmadığı ve yağışa bağlı tarımın gerçekleştirildiği kuzey Mezopotamya'daki topluluklar açısından varlıksal bir tehdit haline dönüşmüş olabileceği açıktır.

3.SONUÇ

Simülasyonu yapılan herbir senaryo (Tablo 1'e göre toplamda 27 adet senaryo) istatistiksel olarak geçerli olabilmesi adına (yani raslantısallığı ortadan kaldırmak adına) 20'şer defa tekrar edilmiştir. Herbir tekrar 100 GB boyutunda veri üretmiş ve analizler toplamda 54 TB veri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Yapılan simülasyonların sonucunda çayır ve otlak bitki örtüsü tipleri arasında belirgin bir fark çıkmamıştır. Buna sebep olarak hem bitki örtüsü tiplerinin birbirine yakın olan döngüleri hem de C-faktör katsayılarının yakınlığı gösterilebilir. Burada c-faktör olarak bahsedilen katsayılar, farklı bitki türlerinin su yoluyla erozyonunu önleme kapasitesini gösteren değerlerdir.

Çizelge 5. Simülasyonlarda topoğrafik değişikliklerin modellenmesi için kullanılan C-faktörü değerlerinin özetleri

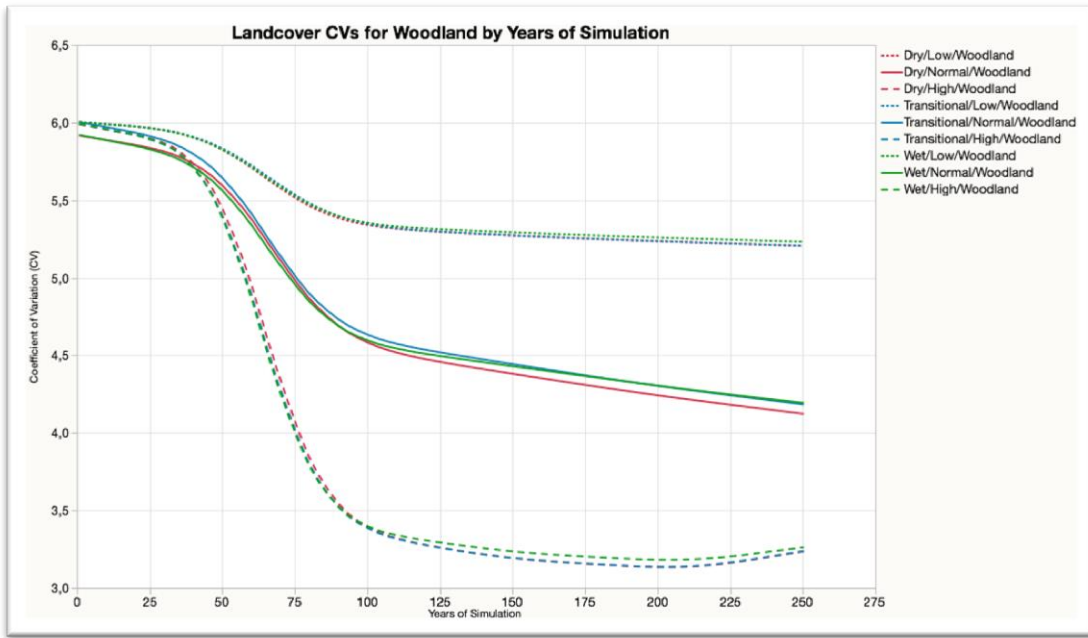
Bitki Örtüsü Tipi	C-faktör Katsayısı
Açık orman step	0.008
Çayır	0.05

Otlak	0.06
-------	------

Gerek bu iki bitki örtüsü tipinin benzerlikler göstermesi ve asıl farklılığın açık orman tipi bitki örtüsünde görülmesi gerekse kullanılacak alanın kısıtlı olması sebebiyle, yalnızca açık orman tipi bitki örtüsü tipine ait simülasyon sonuçları ayrıntılı olarak paylaşılacaktır.

3.1.Açık Orman Tipi Bitki Örtüsü: Biyoçeşitlilik Değişimleri

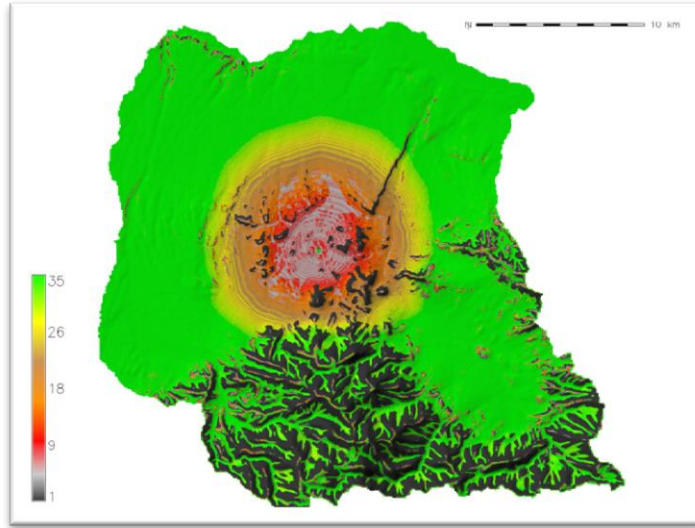
Açık orman tipi bitki örtüsü için simülasyonu yapılan 9 senaryo vardır. Tüm senaryolar aynı değerde ve yüksek biyoçeşitlilikte başlamakta ancak simülasyon sonucunda büyük farklar ortaya çıkmaktadır. Buna göre; düşük nüfus yoğunluğu (kısa kesik çizgiler) durumlarında biyoçeşitlilik 250 yıl sonra en az değişimi göstermektedir. Orta seviyede düşüş yaşanan durumlar ise orta nüfusu yoğunluğu (düz çizgiler) şartlarında oluşmaktadır. Biyoçeşitliliğin en keskin düşüş gösterdiği durumlar ise yüksek nüfus yoğunluğu (uzun kesik çizgiler) altındaki şartlardır. Bu sonuçlar ışığında Arslantepe'nin çevresindeki biyoçeşitlilik değişimlerinde temel etkenin nüfus yoğunluğu olduğu açığa çıkmaktadır.



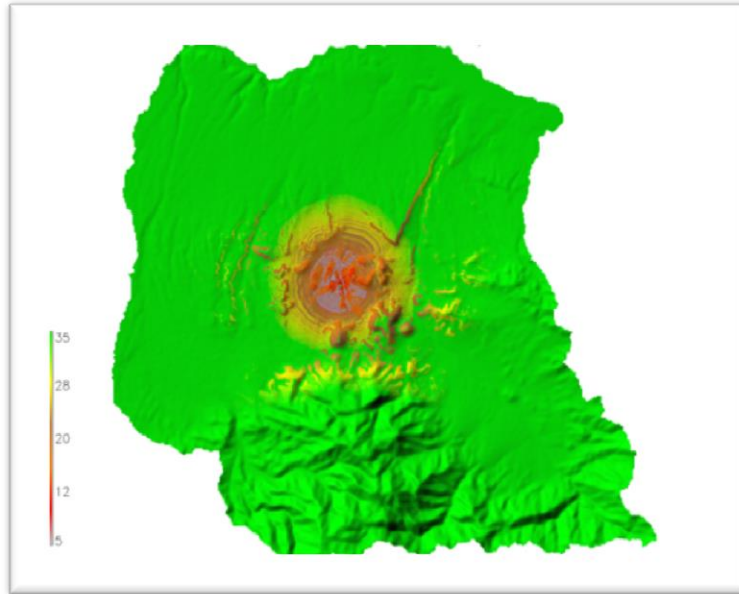
Şekil 24. Açık orman tipi bitki örtüsü tipinde simülasyonu yapılan 9 senaryonun Arslantepe'nin yakın çevresindeki biyoçeşitlilik değişimlerini gösteren grafik

Bu grafikte x-ekseni zamanı y-ekseni ise biyoçeşitlilik ölçeğini göstermektedir. Bitki örtüsü homojen olmadığından ve döngünün (Tablo 3) her aşamasında farklı bitki türleri farklı yoğunluklara sahip olduğundan herhangi bir birim kullanmak bitki türleri arasında karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Ancak, herbir bitki türünün kapladığı alanın standart sapmasının o bitki örtüsünün kapladığı alanın ortalamasına bölünmesiyle elde edilen varyans katsayısı (coefficient of variation) birimsiz bir değer olduğundan yoğunluğu farklı bitki türleri arasında kıyaslama yapmaya imkan vermektedir.

Grafikle ifade edilen bu değişimin haritalanması mümkündür. MML programının çıktılarını GRASS programında kullanıldığında, yüksek ve düşük nüfus değerleri için oluşturulan farklı biyoçeşitlilik haritaları elde edilmektedir. Şekil 5'te; 250 yıllık süreçte, yüksek nüfus yoğunluğu altında insan faaliyetlerinin yaygın etkisi olduğunu, bu etkilerin yerleşmenin merkezine yakın alanlarda bitki örtüsünü neredeyse tamamen ortadan kaldırdığını, yoğun hayvancılık faaliyetlerinin Arslantepe'nin güneyindeki dağın yamaçlarına kadar yayıldığını ve bu alanlarda bitki örtüsünü belirgin ölçüde azalttığı görülmektedir.



Şekil 25. Yağışlı iklim - yüksek nüfus yoğunluğu senaryosunda açık orman bitki örtüsündeki değişimi gösteren harita



Şekil 26. Yağışlı iklim - düşük nüfus yoğunluğu senaryosunda açık orman bitki örtüsündeki değişimi gösteren harita

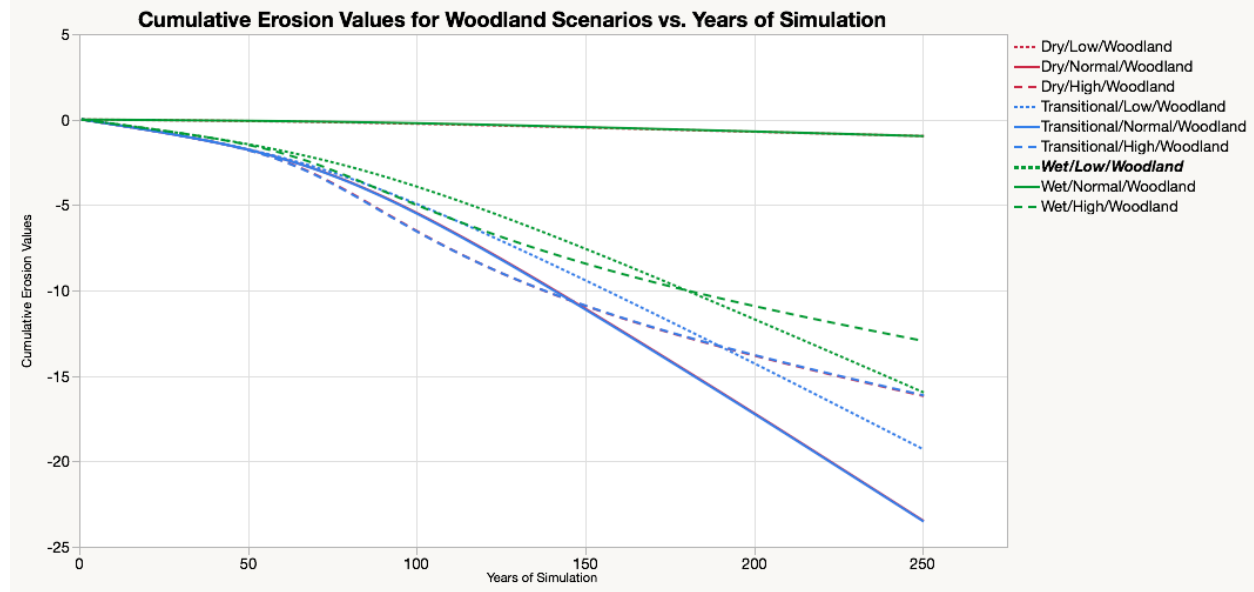
3.2.Açık Orman Tipi Bitki Örtüsü: Yüzey Süreçlerde Değişimler

Yüzey süreçler, biyoçeşitlilikteki değişimlere kıyasla, senaryolara daha karmaşık cevaplar vermekte ve bu da erozyon-yığılma dinamiklerinin çeşitli etkenler tarafından kontrol edildiğini ortaya koymaktadır. Erozyonun hem iklim tipine hem de nüfus yoğunluğuna cevap vermesi test edilen senaryolar arasında erken aşamalarda belirgin ayrışmalara neden olmaktadır. Tüm senaryolar ilk elli yıllık süreçte birbirine yakın erozyon değerleri gösterirken, iklim tipi ve nüfus yoğunlukları özelliklerine bağlı olarak özellikle yüz ellinci yıldan itibaren farklılaşma gözlemlenmektedir.

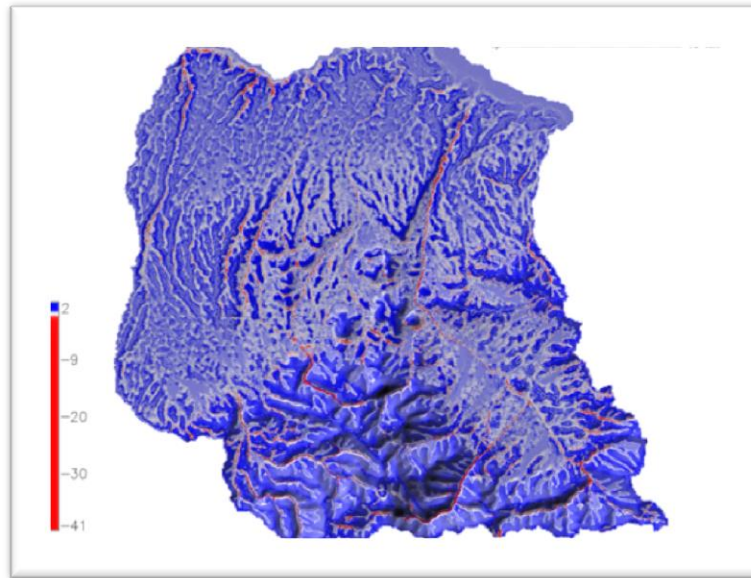
Şekil 7'de görüldüğü gibi; yağışlı iklim - normal nüfus yoğunluğu (yeşil düz çizgi) ile kurak iklim - düşük nüfus yoğunluğu (kısa kesik kırmızı çizgi) en düşük seviyede erozyona neden olmakta (2.5 cm), orta yoğunlukta erozyon her üç iklim tipinde ancak özellikle yüksek ve düşük nüfus yoğunluğuna sahip senaryolarda oluşmaktadır (kısa ya da uzun kesik çizgiler).

Düşük erozyon oranlarının ortaya çıkmasındaki en büyük faktör nüfus yoğunluğunun orta ve düşük seviyede kalmasıdır. Bu grup senaryolarda iklim büyük değişkenlik göstermekteyken toplam 2.5 cm. civarında erozyon

olması yılda 0.1 mm erozyona denk gelmektedir. Buna kıyasla, orta yoğunlukta erozyon gösteren senaryolar grubunda ortalama 16 cm erozyon meydana gelmekte ve bu yılda 0.64mm erozyona karşılık gelmektedir. Bu gruptaki senaryoların ortak noktası uç noktalardaki durumların (geçişli iklim tipi, yüksek nüfusu yoğunluğu gibi) bulunmasıdır.



Şekil 27. Açık orman tipi bitki örtüsü tipinde simülasyonu yapılan 9 senaryonun Malatya Ovası'ndaki erozyon oranları



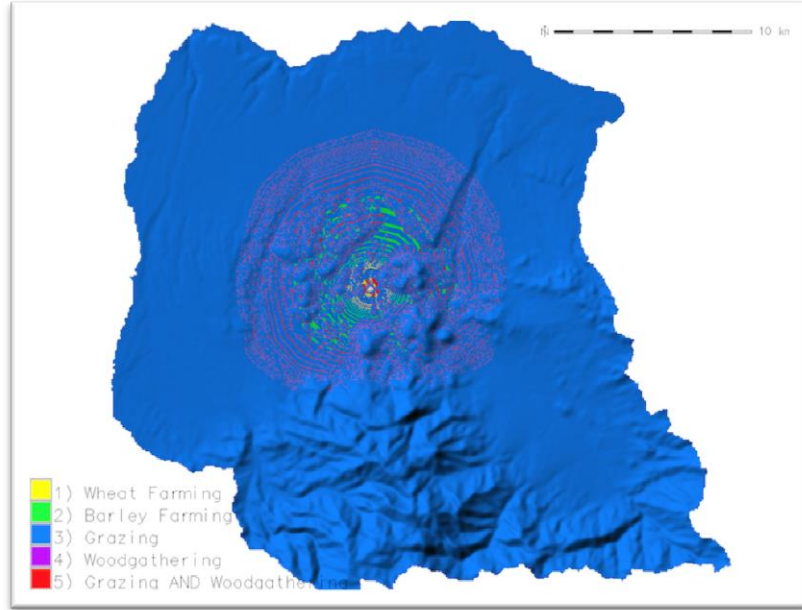
Şekil 28. Yağışlı iklim - yüksek nüfus yoğunluğu senaryosunda açık orman bitki örtüsü altında ve 250 yıllık süreçte erozyon-yığılma oranlarını gösteren harita

Lejand'da en yüksek olup kırmızı ile gösterilen eksi değerler erozyonu, mavi ile gösterilen pozitif değerler ise yığılmayı ifade etmektedir. Lejandın birimi santimetre cinsindedir.

3.3.Açık Orman Tipi Bitki Örtüsü: İnsan Faaliyetlerinin Kümülatif Etkileri

Yağışlı iklim – yüksek nüfus yoğunluğu senaryosunda insan faaliyetlerinin Arslantepe'nin yakın çevresi ile sınırlı kalmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 9). Bu haritada görüldüğü üzere, tarım aktiviteleri (buğday ve arpa üretimi) çok geniş bir alana yayılmış, buna ek olarak çeşitli amaçlarla (inşaat, ısınma, pişirme) yapılan odun toplama faaliyeti tarımsal etki alanının da ötesine çıkmıştır. Bunlara ek olarak, hemen tüm havzada hayvancılık faaliyeti olası hale gelmiştir. Bu şartlar altında, yağışlı iklim – yüksek nüfus yoğunluğu senaryosu insan faaliyetlerinin kümülatif etkileri açısından en ciddi sonuçları doğuracak senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle Arslantepe'nin güneyindeki dağların yamaçlarına kadar yayılan hayvancılık faaliyeti bu yüksek eğimli yüzeylerde kısa sürede

bitkısizleştirme ve erozyon döngüsü başlatmıştır.



Şekil 29. İnsan faaliyetlerinin kümülatif etkilerini yağışlı iklim - yüksek nüfus yoğunluğu altında gösteren harita

KAYNAKLAR

Alvaro, C. Architecture and the organisation of space, Economic Centralisation in Formative States. The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th millennium Arslantepe, ed: Frangipane, M., Studi Di Preistoria Orientale Volume 3, Rome (2010). Pp: 45-71.

Barfield, T.J. The Nomadic Alternative. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1993).

Collective. Characteristics and changes in archaeology-related environmental data during the Third Millennium BC in upper Mesopotamia, Sociétés Humaines Et Changement Climatique A La Fin Du Troisième Millénaire: Une Crise A-t-Elle Eu Lieu En Haute Mesopotamie?, ed: Kuzucuoğlu, Catherine and Marro, C., Georges Dumezil, IFEA (2007). Pp. 573-80.

Cribb, R. Nomads in Archaeology. Cambridge University Press, Cambridge. (1991).

Dreibrodt, Stefan, et al. Geoarchaeological Investigations at Arslantepe. Questions, Research Strategies, Preliminary Research, and Potentials, *Origini* 34, 423-31, (2012).

Frangipane, Marcella. Politics, economy, and political economy in early centralised societies. Theoretical debate and archaeological evidence, Economic Centralisation in Formative States. The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th millennium Arslantepe, ed: Frangipane, M., Studi Di Preistoria Orientale Volume 3, Rome (2010a). Pp. 11-22.

Frangipane, Marcella. Arslantepe. Growth and collapse of an early centralised system: The archaeological evidence, Economic Centralisation in Formative States. The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th millennium Arslantepe, ed: Frangipane, M., Studi Di Preistoria Orientale Volume 3, Rome (2010b). Pp. 23-42.

Frangipane, Marcella. The political economy of the early central institutions at Arslantepe, Economic Centralisation in Formative States. The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th millennium Arslantepe, ed: Frangipane, M., Studi Di Preistoria Orientale Volume 3, Rome (2010c). Pp. 289-307.

Frangipane, Marcella. Fourth Millennium Arslantepe: The Development of a Centralised Society Without Urbanisation, *Origini* 34, 19-40, (2012a).

Frangipane, Marcella. The Collapse of Fourth Millennium Centralised System at Arslantepe and the Far-Reaching Changes in 3rd Millennium Societies, *Origini* 34, 237-60, (2012b).

Jansenn, Marco A. Agent-Based Modelling, International Society for Ecological Economics, Internet Encyclopaedia of Ecological Economics, March 2015

Masi, Alessia, et al. Stable Isotope Analysis of Archaeological Oak Charcoal from Eastern Anatolia as a Marker of mid-Holocene Climate Changes, *Plant Biology*, 1-10, (2012a).

Masi, Alessia, et al. Climatic Interpretation of carbon Isotope Content of mid-Holocene Archaeological Charcoals from Eastern Anatolia, *Quaternary International*, 1-9, (2012b).

Palumbi, Giulio. Pastoral models and centralised animal husbandry. The case of Arslantepe, *Economic Centralisation in Formative States. The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th millennium Arslantepe*, ed: Frangipane, M., *Studi Di Preistoria Orientale Volume 3*, Rome (2010). Pp. 149-69.

Palumbi, Giulio. Bridging the frontiers. Pastoral groups in the upper Euphrates region in the early 3rd Millennium BCE, *Origini* 34, 261-278, (2012).

Restelli, Francesca Balossi. At the roots of the Late Chalcolithic society in the Anatolian Euphrates Valley, *Origini* 34, 41-58, (2012).

Sadori, Laura and Masi, A. Archaeobotanical Research at Arslantepe: Traditional Approach and New Challenges, *Origini* 34, 433-46, (2012).

Siracusano, Giovanni and Bartosiewicz, L. Meat Consumption and Sheep/Goat Exploitation in Centralised and Non-Centralised Economies at Arslantepe, *Anatolia, Origini* 34, 111-23, (2012).

Yoffee, N. *Myths of the Archaic State. Evolution of the Earliest Cities, States, and Civilizations.* Cambridge University Press, Cambridge. (2005).