باستان‌شناسی
مجلهٔ پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی ایران
شاپا: ۴۶۲۹ ـ ۲۶۴۵

بین کوهستان و کویر: شواهد ایزوتوپی از نظام معیشت مخروط‌افکنه در تپه چلو، یک مرکز شهری اولیه در شمال‌شرق ایران

Between Mountains and Desert: Isotopic Evidence of Alluvial Fan Subsistence at Tepe Chalow; an Early Urban Center in NE Iran

آرکادیوش سولتیسیاک[۱]، رافال فتنر[۱]، علی‌اکبر وحدتی[۲]*، رافائله بیشونه[۳]

[۱] گروه باستان‌شناسی زیستی، دانشکدهٔ باستان‌شناسی، دانشگاه ورشو، لهستان.
[۲] اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی استان خراسان شمالی، بجنورد.
نویسنده مسئول: vahdatiali@yahoo.co.uk
[۳] مؤسسهٔ فناوری‌های کاربردی در میراث فرهنگی، شورای تحقیقات ملی ایتالیا، رم.

Arkadiusz Sołtysiak[1], Rafał A. Fetner[1], Ali Akbar Vahdati[2]*, Raffaele Biscione[3]

[1] Department of Bioarchaeology, Institute of Archaeology University of Warsaw, Poland.
[2] Researcher, Cultural Heritage, Tourism, and Handicrafts, North Khorasan Province.
Corresponding author: vahdatiali@yahoo.co.uk
[3] Institute for Technologies Applied to Cultural Heritage, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, Italy.

اطلاعات مقاله

تاریخ‌ها
دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

واژگان کلیدی
باستان‌شناسی زیستی
ایزوتوپ کربن
ایزوتوپ نیتروژن
عصر مفرغ
فرهنگ بلخی‌مروی

چکیده

فرایند شهرنشینی در جنوب آسیای مرکزی، به‌ویژه تغییر الگوهای کاربری زمین در طول هزاره‌های چهارم و سوم قبل از میلاد، در ارتباط با افزایش پیچیدگی اجتماعی، هنوز به‌خوبی درک نشده است. برای پر کردن این خلاء اطلاعاتی، ما مقادیر ایزوتوپ ۱۳ کربن ($\delta^{13}C$) و ۱۵ نیتروژن ($\delta^{15}N$) در کلاژن استخراج‌شده از استخوان‌های انسان و حیوانِ کاوش‌شده در تپه چلو در دشت جاجرم واقع در شمال‌شرقی ایران را بررسی کرده‌ایم. نتایج آنالیز نمونه‌های انسانی نشان‌دهندهٔ دو مرحله سکونت در این مکان باستانی است: دورهٔ مس‌وسنگ پایانی و عصر مفرغ قدیم (مرحلهٔ آغاز شهرنشینی، حدود ۲۴۰۰-۳۴۰۰ ق‌م) و دورهٔ رواج فرهنگ بلخی‌مروی (BMAC)/تمدن خراسان بزرگ (مرحلهٔ شهرنشینی، حدود ۱۷۰۰-۲۳۰۰ ق‌م). نمونهٔ استخوان جانوری فقط از دورهٔ رواج فرهنگ بلخی‌مروی وجود داشت. کلاژن استخوان با استفاده از دستورالعمل اصلاح‌شدهٔ لانگین استخراج شد و مقادیر ایزوتوپی با اسپکتروسکوپ جرمی نسبت ایزوتوپی استاندارد به‌دست آمد. در اکثر نمونه‌های انسانی و جانوری، مقدار متوسط $\delta^{15}N$ بسیار بالا است که احتمالاً حاصل ترکیبی از خشکی اقلیم و کثرت استفاده از کود دامی در سطح نسبتاً کوچکی از زمین‌های کشاورزی آبی است. همچنین، تغییر مقدار $\delta^{13}C$ بین مرحلهٔ آغازشهرنشینی و مرحلهٔ شهرنشینی ممکن است به گذار از دامپروری کوچک‌مقیاس خانگی به بهره‌برداری گسترده‌تر از مراتع شور اطراف تپه چلو مربوط باشد. داده‌های ایزوتوپی حاکی از الگوی تغییر منطقه‌ای از کشاورزی خُردمقیاس (مس‌وسنگ پایانی) از طریق الگوهای مختلف کشاورزی ـ دامداری در عصر مفرغ، به کوچ‌نشینی یا رمه‌گردانی در عصر آهن است.

Abstract: The process of urbanization in southern Central Asia, especially changes in land use patterns associated with an increase in social complexities during the 4th and 3rd millennia BC, is still poorly known. To rectify this gap, we studied $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ in collagen extracted from human and animal bones excavated at Tepe Chalow in Jajarm Plain, NE Iran. Samples taken from human skeletons represent two phases of occupation at the site: Late Chalcolithic and Early Bronze Age (proto-urban, LC/EBA, c. 3400-2400 BC) and BMAC (urban, c. 2300-1700 BC). Animal bone samples were available only for the BMAC period. Bone collagen was extracted using a modified Longin protocol and isotopic values were obtained using a standard isotopic ratio mass spectrometer. In most human and animal samples average $\delta^{15}N$ values are very high. That is likely to be the result of combined aridity and intensive manuring in relatively small areas of land suitable for irrigation agriculture. Besides, shift in $\delta^{13}C$ between proto-urban and urban phases may be related to the transition from household animal husbandry to wider exploitation of saline steppes around the site as pastures. Isotopic data supports the model of a regional shift from small-scale farming in the Late Chalcolithic and various modes of agropastoralism in the Bronze Age to nomadic or transhumant pastoralism in the Iron Age.

History
Received: June 26, 2024
Accepted: Aug. 24, 2024

Keywords
Bioarchaeology
Carbon Isotopes
Nitrogen Isotopes
Bronze Age
BMAC

استناد: سولتیسیاک، آرکادیوش، فتنر، رافال، وحدتی، علی‌اکبر، بیشونه، رافائله (۱۴۰۳). «بین کوهستان و کویر: شواهد ایزوتوپی از نظام معیشت مخروط‌افکنه در تپه چلو، یک مرکز شهری اولیه در شمال‌شرق ایران». باستان‌شناسی، ۴ (۲): ۴۴-۳۱.

https://doi.org/10.22034/4.2.31

© ۱۴۰۳ (۲۰۲۴) نویسندگان مقاله، مجلهٔ باستان‌شناسی، مجلهٔ پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی ایران.

مقدمه

فرایند آغاز شهرنشینی در شمال‌شرق ایران و جنوب آسیای مرکزی در عصر مفرغ به‌ویژه در قیاس با میان‌رودان آن روزگار (Ur, 2010) یا مصر (Moeller, 2018) قدری ناشناخته است. نخست برخی مراکز آغاز شهرنشینی همچون نمازگاه و آلتین تپه در کوهپایه‌های شمالی کپه‌داغ در دورهٔ مس‌وسنگ شکل گرفته و توسعه یافته‌اند (P'yankova, 1994). سپس در این منطقه فرهنگ باستان‌شناسی کاملاً شهرنشینی معروف به تمدن جیحون، یا مجموعه باستان‌شناختی بلخی‌مروی (BMAC) که به‌تازگی تمدن خراسان بزرگ (GKC) هم نامیده شده، بین ۲۲۰۰ تا ۱۷۰۰ قبل‌ازمیلاد ظهور کرد (Lamberg-Karlovsky, 2013). تمدن خراسان بزرگ در منطقهٔ نسبتاً مرطوبی از دامنه‌های کپه‌داغ به سمت کویر قراقوم و گوشهٔ شمال‌شرقی خراسان (درهٔ اترک بالا، درهٔ کشف‌رود و نواحی خشک‌تر سبزوار و تربت جام) توسعه یافته و پهنهٔ اصلی مسکونی آن در مخروط‌افکنهٔ رود مُرغاب است؛ هرچند به سمت غرب تا دشت جاجرم و به سمت شرق تا کوهپایه‌های پامیر و از جنوب به منطقهٔ سیستان و کویته‌ـمهرگره در پاکستان هم گسترش یافته است (Thornton, 2013; Biscione and Vahdati, 2020).

اگرچه تشکیل تمدن خراسان بزرگ به احتمال زیاد حاصل توسعهٔ جمعیت‌های کشاورزی محلی در آسیای مرکزی بود، ولی این تمدن درخشان به‌زودی به گرهٔ مهمی در شبکهٔ تمدن‌های منطقه‌ای عصر مفرغ، به نام منطقهٔ برهمکنش میانهٔ آسیا (MAIS) تبدیل شد که از درهٔ سند، جیرفت و شهرسوخته در جنوب‌شرق ایران گرفته تا فرهنگ بلخی‌مروی (BMAC) در آسیای مرکزی، تپه حصار و تپه سیلک در فلات مرکزی ایران تا عیلام، میان‌رودان و مصر در غرب را در بر می‌گرفت (Possehl, 2007; Lamberg-Karlovsky, 2013). پراکندگی وسیع اشیای خوش‌ساخت و باکیفیت در چنین منطقهٔ وسیعی گویای روابط گستردهٔ تجاری بین مردمان تمدن خراسان بزرگ و درهٔ سند، فلات ایران و سواحل خلیج فارس است (Lamberg-Karlovsky, 2013).

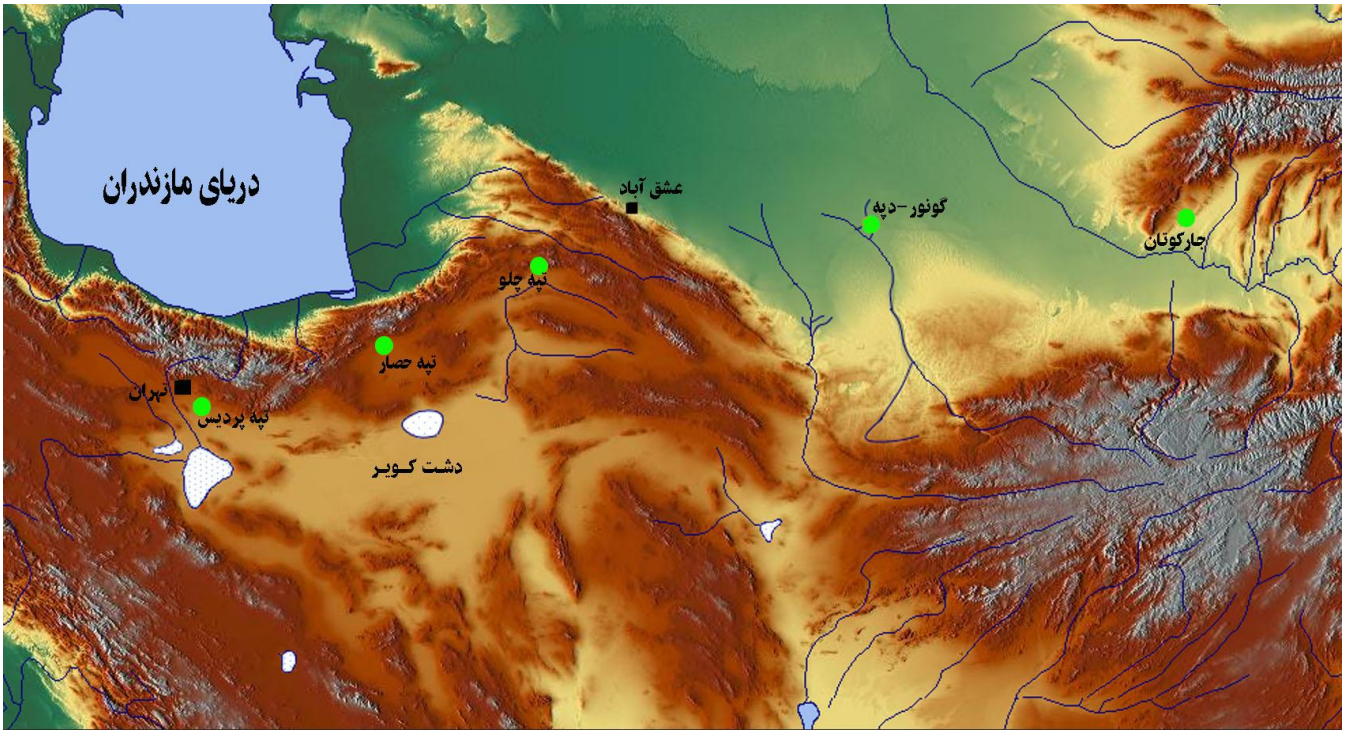
مکان‌های اصلی تمدن خراسان بزرگ همچون گونور یا جارکوتان تا ۵۵ هکتار وسعت داشتند و از بخش‌هایی همچون حصار شهر، بناهای یادمانی عمومی و مناطق صنعتی تشکیل می‌شدند (Lamberg-Karlovsky, 2013). بیشتر مکان‌های استقراری مهم روی مخروط‌افکنه‌ها قرار داشتند و باوجود این‌که به دلیل فعالیت‌های جدید کشاورزی شواهد مستقیم آبیاری اندک است، الگوهای استقرار و شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که معیشت محلی بر مبنای کشت گندم و جو در مزارع آبی بوده است (Miller, 1999; Lamberg-Karlovsky, 2013). علاوه بر کشت و زرع گیاهان، پرورش بز و گوسفندسانان و نگهداری گاو هم انجام می‌شد (Rouse, 2015).

مدرکی دال بر روابط مستقیم بین مردمان تمدن خراسان بزرگ و میان‌رودان آن روزگار وجود ندارد، ولی اقتصاد این دو تمدن کاملاً شبیه به یکدیگر و بر مبنای آبیاری و ترکیب مشابهی از گونه‌ها، هم در کشت گیاهان (Spengler, 2015) و هم در دامپروری بود (Lamberg-Karlovsky, 2013). تنها در اواخر دورهٔ رواج تمدن خراسان بزرگ با فروپاشی شهرهای بزرگ و شاید نقصان یافتن شبکهٔ آبیاری تغییرات مهمی رخ داد. تعادل زندگی کشاورزی و دامداری به سمت دامپروری به سبک خانه‌بدوشی، یعنی کوچ‌نشینی و رمه‌گردانی بر هم خورد (Rouse, 2015) و با ورود ارزن که به خشکی مقاوم‌تر است (Tengberg, 2013; Spengler, 2015) کشت و زرع گیاهان گسترده‌تر و متنوع‌تر شد (Luneau, 2019). همهٔ این تغییرات احتمالاً با گسترش تدریجی الگوی معیشت استپی از شمال آسیای مرکزی، از منطقهٔ زندگی مردم فرهنگ آندرونوو، به سمت جنوب آغاز شد؛ گرچه پیش از این از میانهٔ هزارهٔ سوم ق‌م هم تعاملاتی بین شهرنشینان جنوب آسیای مرکزی و خانه‌بدوشان استپ‌های شمال وجود داشته است (Frachetti, 2006). شواهد جدیدی از توسعهٔ تمدن خراسان بزرگ و الگوی معیشت آن به‌تازگی در کاوش‌های تپه چلو در نزدیکی سنخواست در دشت جاجرم، در جنوب رشته‌کوه‌های آلاداغ به‌دست آمده است (شکل ۱). این محوطهٔ باستانی در زبانهٔ انتهایی مخروط‌افکنهٔ رودخانهٔ دربند و در انتهای مخروط‌افکنهٔ درهٔ کوهستانی قِلّی قرار دارد. رودخانهٔ دربند یک آب دائمی است که از دامنهٔ کوه‌های شمالِ تپه چلو به سمت جنوب جریان دارد و به رودخانهٔ کالشور می‌ریزد (وحدتی و دیگران، ۱۳۹۷؛ Vahdati *et al*., 2019).

تپه چلو در دورهٔ مس‌وسنگ پایانی و عصر مفرغ قدیم (حدود ۳۴۰۰ تا ۲۴۰۰ ق‌م) و سپس در ربع پایانی هزارهٔ سوم ق‌م تا حدود ۱۸۰۰ ق‌م سکونت داشته است. هرچند تعدادی اشیای نوع تمدن خراسان بزرگ از چند محوطهٔ باستانی در غرب تپه چلو از جمله در تپه حصار پیدا شده، ولی چلو غربی‌ترین مکان شناخته‌شده از «منطقهٔ گسترش» تمدن خراسان بزرگ قلمداد می‌شود (وحدتی و بیشونه، ۱۳۹۳؛ Biscione and Vahdati, 2020). موقعیت تپه چلو

هوشمندانه انتخاب شده، چون نه تنها به‌دلیل قرارگیری روی مخروط‌افکنه آبرفتی نسبت به اراضی اطراف مرطوب‌تر بوده، بلکه به‌دلیل قرارگیری بر سر یک شاخهٔ مهم از شاهراه تاریخی خراسان بزرگ که در امتداد کوهپایه‌های آلاداغ کشیده شده و در دورهٔ اسلامی نیشابور و جرجان را به هم متصل می‌کرد، از تجارت بین منطقه‌ای هم سود می‌برده است (Aubin, 1971).

تپه چلو در منطقهٔ آب‌وهوایی نیمه‌خشک سرد (Bsk) با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم (Peel *et al*., 2007) و میانگین بارندگی سالانهٔ ۲۳۰ میلی‌متر (climate-data.org) واقع شده است. گرچه بیشتر بارندگی در اواخر زمستان تا اوایل بهار رخ می‌دهد، اما این مقدار برای کشاورزی دیم قابل اعتماد بسیار کم است (Koocheki, 1986). از این رو کشت گیاهان تا حد زیادی وابسته به آبیاری در مخروط‌افکنهٔ رودخانهٔ دربند بوده که حداکثر حدود ۵۰ کیلومتر مربع وسعت دارد و برای تأمین غذای چند هزار نفر کفایت می‌کند. داده‌های باستان‌شناسی در تپه چلو از ذخیره‌سازی محصولات کشاورزی در محدوده‌های انباری با تعدادی خمره‌های بزرگ آذوقه مربوط به دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/عصر مفرغ قدیم حکایت دارد.



شکل ۱. موقعیت تپه چلو و سایر محوطه‌های باستانی ذکر شده در متن این مقاله.

بقایای گیاهی شناسایی‌شده در کاوش‌های تپه چلو شاخص زندگی کشاورزی تمدن خراسان بزرگ است و شامل گندم (Triticum aestivum/durum)، جو (Hordeum vulgare) و انگور (Vitis vinifera) می‌شود (وحدتی و بیشونه، ۱۳۹۳؛ وحدتی و دیگران، ۱۳۹۷؛ Vahdati *et al*., 2019). در حال حاضر متأسفانه هیچ دادهٔ باستان‌گیاه‌شناسی نظام‌یافته‌ای از لایه‌های استقراری مربوط به تمدن خراسان بزرگ/فرهنگ بلخی‌مروی در دست نیست. اطلاعات دقیق‌تر در مورد رژیم غذایی و معیشت گروه‌های انسانی جوامع گذشته را با تجزیه‌وتحلیل ایزوتوپ‌های پایدار کربن و نیتروژن در استخوان انسان یا کلاژن دندان می‌توان به‌دست آورد (Lee-Thorp, 2008). باوجود این‌که در کلاژن عمدتاً سیگنال غذایی پروتئین‌ها حفظ می‌شود، ولی کلاژن نسبت به بیوآپاتیت[1] در برابر آلودگی مقاوم‌تر است و بنابراین، به‌طور معمول برای بازسازی رژیم‌های غذایی جوامع گذشته از کلاژن استفاده می‌شود (Collins

[1] بیوآپاتیت نام کانی کلسیم فسفات پیچیده‌ای است که در بافت‌های زیستی تشکیل می‌شود و مشخصهٔ آن اندازهٔ کریستالیتی بسیار کوچک است.

et al., 2002). نسبت ایزوتوپ‌های پایدار کربن ($\delta^{13}C$) در کلاژن بیشتر با ترکیب غذاهای مرتبط به گیاهان، یعنی فراوانی گیاهان با مسیرهای فتوسنتز سه کربنه (C_3) و چهار کربنه (C_4) که مقدار متوسط کربن ($\delta^{13}C$) در آنها به‌ترتیب ‰۲۷- و ‰۱۴- است، متمایز می شود (Marshall *et al.*, 2007; Pyankov *et al.*, 2010). بیشتر غلات و حبوبات کشت‌شده در دنیای باستان گیاهانی هستند که مسیر فتوسنتز سه کربنه (C_3) دارند و تنها گونه‌های چهار کربنه (C_4) که قدری ارزش اقتصادی دارند عبارتند از ارزن، سورقوم (ذرت خوشه‌ای)، ذرت و نیشکر (Lee-Thorp, 2008). با این حال، بسیاری از گونه‌های گیاهان وحشی با مسیرهای فتوسنتز چهار کربنه (C_4) در مراتع، به‌ویژه در مناطق خشک و شور رشد می‌کنند (Rudov *et al.*, 2020). بنابراین سیگنال غذایی آن‌ها ممکن است از طریق مصرف گوشت و محصولات حیوانی به انسان منتقل شود (Bocherens *et al.*, 2000). همچنین مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار کربن ($\delta^{13}C$) ممکن است بین محیط‌های دریایی و خشکی متفاوت باشد (Chisholm *et al.*, 1982) و به‌دلیل شکست ایزوتوپ در طول مسیرهای متابولیک به‌طور متوسط ‰۳٫۷ در هر سطح تغذیه‌ای[۲] افزایش یابد. مقدار ایزوتوپ‌های پایدار کربن ($\delta^{13}C$) همچنین به میزان رطوبت محلی بستگی دارد، هرچند این سیگنال از بقیه بسیار ضعیف‌تر است (Riehl *et al.*, 2008). از آنجا که مقادیر ایزوتوپ نیتروژن($\delta^{15}N$) با سطح تغذیه‌ای همبستگی مثبت دارد، به‌طور معمول از آن برای ارزیابی نسبت غذاهای گیاهی و حیوانی در رژیم غذایی انسان استفاده می‌شود (DeNiro and Epstein, 1981). میانگین فاصلهٔ بین غذا و مصرف‌کننده ‰۳٫۶ است (Szpak *et al.*, 2012)، با غنی‌سازی حتی بیشتر نیتروژن (^{15}N) در امتداد زنجیره‌های غذایی دریایی (Ben-David and Flaherty, 2012). با این حال، مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) هم به‌شدت با دو عامل محیطی دیگر در ارتباط است. نخست میانگین بارش، بدین‌ترتیب که هر چه منطقه خشک‌تر، میانگین مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) در تمام سطوح تغذیه‌ای هم بالاتر است (Ma *et al.*, 2012) و این تأثیر مشاهده‌شده در میان‌رودان بیشتر از فاصلهٔ بین سطوح تغذیه‌ای است؛ یعنی به‌طور میانگین ‰۵ بین دشت مرطوب شهر زور (میانگین نیتروژن کمتر از ‰۷ ، میانگین بارش سالانهٔ ۶۸۰ میلی‌متر) (Fetner, 2016) و درهٔ خشک فرات میانی (با میانگین نیتروژن حدود ‰۱۲ و میانگین بارش سالانهٔ ۱۲۰ میلی‌متر) (Sołtysiak and Schutkowski, 2018). عامل بعدی، سطح کود دهی اراضی کشاورزی با کود حیوانی است که در مقایسه با خاک از ایزوتوپ نیتروژن ۱۵ زیست فراهم غنی شده است. هر چه مقدار کود حیوانی بیشتر و زمان کوددهی طولانی‌تر باشد، در تمام سطوح تغذیه‌ای مقدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) بالاتری وجود خواهد داشت (Fraser *et al.*, 2011). بنابراین، ممکن است نیتروژن ($\delta^{15}N$) یک شاخص جایگزین برای کشاورزی گسترده (کم کود) در مقابل کشاورزی فشرده (کود زیاد) هم باشد (Styring *et al.*, 2016).

باوجود این‌که داده‌های کربن و نیتروژن برای جوامع انسانی تمدن خراسان بزرگ منتشر نشده، ولی مطالعات گسترده‌ای در این زمینه برای منطقهٔ استپی شمال آسیای مرکزی وجود دارد (Lightfoot *et al.*, 2015). واریانس بین افراد در مقایسه با واریانس بین مکان‌ها بالا و آفِست ایزوتوپ‌های نیتروژن ($\delta^{15}N$) در انسان از غنی‌سازی نیتروژن ۱۵ سطح تغذیه‌ای مورد انتظار بیشتر بود (میانگین ‰۱۳٫۳ در انسان در مقابل ‰۷٫۲ در گیاهخواران و ‰۱۰٫۷ در گوشتخواران) و این اثر به مثابهٔ مصرف زیاد ماهی آب شیرین تفسیر شده است. مقادیر ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}C$) در چهار اسکلت انسانی نسبتاً بالا بود که حاکی از مصرف ارزن است (Lightfoot *et al.*, 2015). از آنجا که در تپه چلو گورهای دو مرحلهٔ استقراری مختلف از دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم و دورهٔ رواج تمدن خراسان بزرگ/فرهنگ بلخی‌مروی کاوش شده، می‌توان از مقادیر ایزوتوپ نیتروژن ($\delta^{15}N$) و کربن ($\delta^{13}C$) در اسکلت‌های این دو مرحله، در ارزیابی تغییرات رژیم غذایی و معیشت مردم این مکان در طول زمان در مراحل آغاز شهرنشینی (یعنی مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم) و شهرنشینی (یعنی دورهٔ رواج تمدن خراسان بزرگ) استفاده کرد. به‌طور خاص، در اینجا هدف ما پاسخ به این سؤال است که آیا اقتصاد مردمان تمدن خراسان بزرگ بر کشاورزی فشرده‌تر (مقادیر بیشتر $\delta^{15}N$) با بهره‌برداری بیشتر از استپ‌های شور به عنوان مراتع (مقادیر $\delta^{13}C$ منفی کمتر) مبتنی بوده که افزایش جمعیت و پیچیدگی اجتماعی باعث ایجاد آن شده بود.

[۲] سطح تغذیه‌ای (trophic level) به مراحل متوالی در یک زنجیرهٔ غذایی اشاره دارد که از تولیدکنندگان در پایین شروع می‌شود و با مصرف‌کنندگان اولیه، ثانویه و ثالثیه ادامه می‌یابد.

مواد

تپه چلو طی چهار فصل (۱۳۹۴-۱۳۹۰) توسط یک هیئت مشترک ایرانی ـ ایتالیایی به‌سرپرستی علی‌اکبر وحدتی و رافائله بیشونه کاوش شد. این مکان باستانی که در اثر فعالیت‌های کشاورزی جدید سخت آسیب‌دیده و بسیاری از لایه‌های فرهنگی آن با تراکتور آشفته و جابه‌جا شده، حدود ۴۰ هکتار وسعت دارد (وحدتی و بیشونه، ۱۳۹۳؛ وحدتی و دیگران، ۱۳۹۷).

آثار و بقایای بخش‌های مسکونی تقریباً به‌کلی تخریب شده و عمدتاً گورها و مناطق انباری همراه با خمره‌های بزرگ ذخیره‌سازی در کاوش‌ها پیدا شده که این محدوده‌های انباری در فضاهای نیمه زیرزمینیِ روباز در خارج از منطقهٔ مسکونی قرار داشته‌اند. در این محوطه دو مرحلهٔ استقرار وجود دارد: مرحلهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم با تاریخ رادیوکربن کالیبره شده بین ۳۲۰۸ـ۳۳۳۷ تا ۲۴۷۹ـ۲۶۷۶ ق‌م و مرحلهٔ فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ با تاریخ رادیوکربن کالیبره‌شده بین ۲۱۳۰ تا ۱۷۲۹ـ۱۹۰۶ ق‌م (تمام تاریخ‌ها با احتمال ۹۵/۴٪).

با توجه به تخریب‌های جدید، تغییر اندازهٔ محوطه در طول زمان قابل ارزیابی نیست، اما به نظر می‌رسد که اندازهٔ استقرار در دورهٔ فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ افزایش یافته است. گورهای فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ بیشتر در غرب محوطه که کمتر تخریب شده پیدا شده است. این منطقه در مرحلهٔ فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ به‌عنوان گورستان خارج از منطقهٔ مسکونی مورد استفاده قرار گرفته است (وحدتی و بیشونه، ۱۳۹۳). نحوهٔ توزیع یا الگوی فضایی گورهای مرحلهٔ پایان مس‌وسنگ/مفرغ قدیم کمتر شناخته شده است. طی چهار فصل کاوش، روی‌هم‌رفته ۴۸ گور و چندین مجموعهٔ استخوانی پراکنده در مناطق کاوش‌شده به‌دست آمد که تعدادی از آنها در اثر فعالیت‌های کشاورزی جدید به‌کلی از بین رفته بودند (Vahdati and Biscione, 2021).

بقایای اسکلتی بررسی‌شده متعلق به حداقل ۴۱ نفر است که در این بین ۲۶ اسکلت مربوط به تمدن خراسان بزرگ هستند. گورها بسیار نزدیک به سطح زمین پیدا شده و بنابراین، وضعیت کلی سلامت استخوان‌ها ضعیف یا بسیار ضعیف است (Sołtysiak *et al.*, 2016). در گورهای تمدن خراسان بزرگ مجموعه‌ای از اشیاء و گاه بقایای جانوری پیدا شده و به‌ویژه در گور زنان هدایای تدفینی فراوانی گذاشته شده است (وحدتی و دیگران، ۱۳۹۷؛ Vahdati *et al.*, 2019). روی‌هم‌رفته، ۲۷ نمونهٔ استخوان انسانی عمدتاً از استخوان‌های بلند سالم‌ترین اسکلت‌ها برداشت شد. همچنین، از گورهای فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ و پراکندگی‌های استخوان قابل انتساب به این دوره ۱۹ نمونهٔ استخوان حیوانی انتخاب شد.

هرچند پژوهش بر ایزوتوپ‌های پایدار تاکنون در ایران چندان رایج نبوده، ولی خوشبختانه از دو مکان باستانی واقع در بستر جغرافیایی بسیار مشابه، یعنی روی مخروطه‌افکنه‌های واقع بین رشته‌کوه در شمال و کویر در جنوب، داده‌های قابل مقایسه در دست است. این دو مکان تپه حصار و تپه پردیس هستند. تپه حصار یک مرکز شهری بزرگ در دشت دامغان در شمال‌شرق فلات ایران است که بین هزاره‌های پنجم و دوم ق‌م مسکون بوده است. در مجموع، مقادیر ایزوتوپی کربن و نیتروژن برای ۶۸ نفر از حصار موجود است که سه زیرمجموعهٔ زمانی مربوط به ۳۷۰۰ـ۴۳۰۰ قبل از میلاد (۸ نفر)، ۲۹۰۰-۳۷۰۰ ق‌م (۱۱ نفر)، ۱۷۰۰-۲۹۰۰ ق‌م (۴۹ نفر) را در بر می‌گیرد (Afshar *et al.*, 2019). تپه پردیس یک محوطه باستانی در نزدیکی ورامین در دشت تهران است (Fazeli *et al.*, 2007) که دارای ۱۶ اسکلت مربوط به ۱۶۵۰ تا ۱۲۰۰ ق‌م است (Ramaroli *et al.*, 2010).

روش‌ها

نمونه‌ها با استفاده از پروتکل لانگین (Longin) اصلاح‌شده، پیش‌تیمار شدند (Brown *et al.*, 1988). به منظور جلوگیری از آلودگی، سطح تمام نمونه‌ها به‌صورت مکانیکی برداشته شد و سپس استخوان‌ها در هاون دستی پودر شدند. پودر استخوان درون لوله‌های شیشه‌ای ریخته و به آن اسید هیدروکلریک (HCl, 0.3 mol/l) افزوده شد و نمونه‌ها تا زمان حذف مواد معدنی در دمای اتاق نگهداری شد. سپس نمونه‌ها سه بار با آب فوق خالص (دیونیزه) شستشو شدند. پس از این، محلول آب اسید هیدروکلریک (pH 3) یک هفته‌ای به نمونه اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. محلول به‌دست آمده فیلتر (EzeeFilters) و در نهایت با انجماد سخت، خشک شد (لیوفیلیزه). کلاژن خشک به آزمایشگاه ایزوتوپی گروه بوم‌شناسی و مدیریت جنگل در دانشگاه علوم کشاورزی سوئد ارسال شد. در آنجا نمونه‌ها برای حذف رطوبت احتمالی به مدت یک شب در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. آزمایش ایزوتوپ

پایدار با اسپکتروسکوپ جرمی نسبت ایزوتوپی دلتا V متصل به دستگاه سنجش عنصری Flash EA 2000 انجام شد (ترموفیشر، برمن، آلمان). مقادیر ایزوتوپ‌های کربن ($\delta^{13}C$) و نیتروژن ($\delta^{15}N$) در برابر مواد استاندارد بین‌المللی اندازه‌گیری شد؛ برای ایزوتوپ‌های کربن: IAEA-600, IAEA-CH-6, and USGS40 و برای ایزوتوپ‌های نیتروژن: IAEA-600, IAEA-N-2, USGS40. مقادیر (در هر میلی‌متر) برای کربن ($\delta^{13}C$) در رابطه با استاندارد PDB وین و برای نیتروژن ($\delta^{15}N$) در رابطه با نیتروژن اتمسفری (AIR) ارائه شده است. خطای اندازه‌گیری برای کربن حدود ۰٫۱‰ و برای نیتروژن ۰٫۲‰ است (انحراف استاندارد). کیفیت کلاژن با استفاده از فراوانی اجزاء آلی در استخوان خشک (بیش از ۱٪)، نسبت کربن و نیتروژن بین ۲٫۹ و ۳/۶ (DeNiro, 1985) و فراوانی نیتروژن (بیش از ۱/۵٪) و کربن (بیش از از ۵٪) در کلاژن استخراج شده ارزیابی شد. دو مورد آخر از آستانهٔ توصیه‌شده کمترند (Ambrose, 1990; van Klinken, 1999) ولی اگر نسبت کربن/نیتروژن در محدودهٔ مورد انتظار باشد، همچنان قابل قبول هستند (Jacob *et al*., 2018). به‌دلیل کوچک بودن حجم نمونه‌ها، تفاوت بین زیرمجموعه‌ها با استفاده از آزمون غیر پارامتری اچ کروسکال ـ والیس (Kruskal-Wallis H-test) و با آزمون یو من ویتنی (Mann-Whitney U-test) برای مقایسه‌های زوجی مورد آزمایش قرار گرفت.

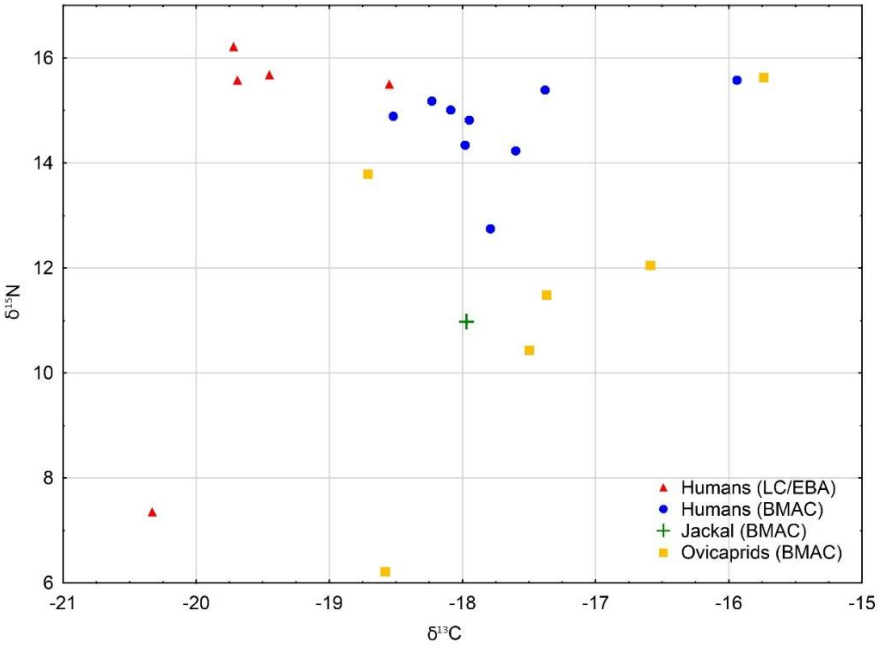
نتایج اولیه

چهارده نمونه (۵۲%) استخوان انسانی (جدول ۱) و هفت نمونه (۳۷%) استخوان جانوری (جدول ۲) از معیارهای کیفیت برخوردار بودند و حتی کلاژن حاصل از آنها نسبتاً پایین بود (معمولاً بین ۱٪ و ۳٪). با این حال، نسبت کربن/نیتروژن در بیشتر نمونه‌ها به محدودهٔ ایمن بین ۳٫۰۸ و ۳٫۲۰ کاهش یافت، جز چند استثناء که تا ۳٫۳۷ رسید. بنابراین، علی‌رغم فرسایش عمومی زیاد استخوان‌ها، تعداد نمونه‌ها برای مقایسه بین زیرمجموعهٔ انسانی دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم (پنج نفر)، زیرمجموعهٔ انسانی فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ (نه نفر) و بزسانان و گوسفندسانان تمدن خراسان بزرگ (شش نفر) مناسب است.

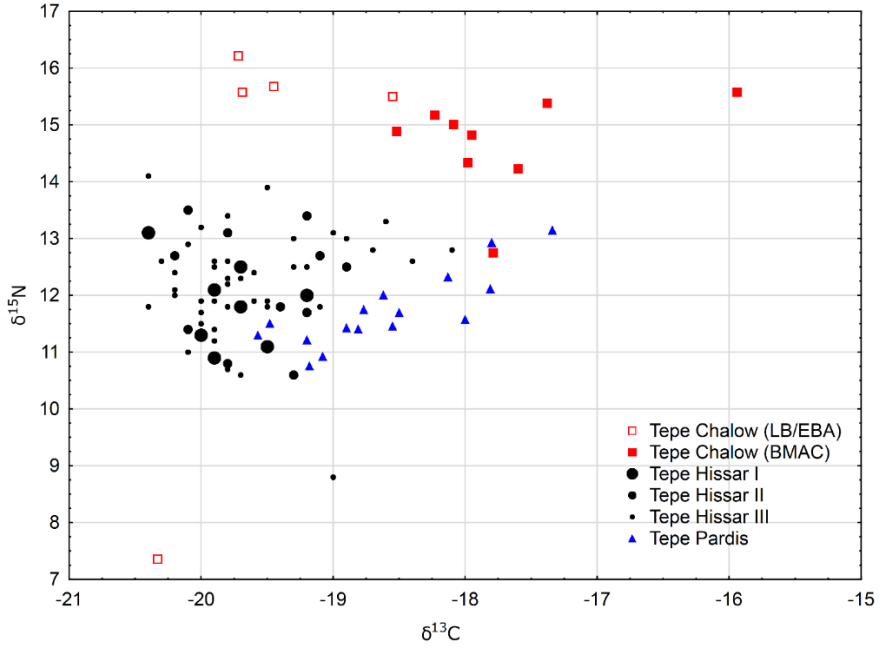
بیشتر افراد دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم و فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ به خوشه‌های جداگانه تعلق دارند که تفاوت آنها بیشتر در وجود میانگین منفی کمتر مقادیر کربن ($\delta^{13}C$) در زیرمجموعهٔ فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ است (شکل ۲). در زیرمجموعهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم یک نقطهٔ پرت با مقدار نیتروژن بسیار کمتر (بیش از ۸‰ کمتر از چهار فرد دیگر) و در زیرمجموعهٔ فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ هم یک نقطهٔ پرت با مقدار کربن منفی کمتر وجود دارد. مقادیر ایزوتوپی برای بزسانان و گوسفندسانان فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ پراکنده‌تر است ولی مقادیر نیتروژن ($\delta^{15}N$) بیشتر آنها تقریباً یک سطح تغذیه‌ای از انسان‌های معاصر پایین‌تر است. باوجود این، مقدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) در یکی از بز/گوسفندسانان بسیار پایین و در باقی بالاست و همچنین این نمونه‌ها بالاترین مقدار کربن ($\delta^{13}C$) را دارند. در تنها نمونهٔ موجود از یک گوشتخوار وحشی که متعلق به شغال معمولی است، مقدار کربن ($\delta^{13}C$) در محدودهٔ انسان و بز/گوسفندسانان تمدن خراسان بزرگ است ولی مقدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) آن بسیار از انسان پایین‌تر است، به جز یک نقطهٔ پرت که در نمونه‌های دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم مشاهده شد. اگر تنها نقطهٔ پرت انسانی و تنها نقطهٔ پرت بز/گوسفندسان با کمترین مقدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) را در نظر نگیریم (جدول ۳) می‌توان تفاوت‌های آماری معناداری بین دو زیرمجموعهٔ انسانی و بز/گوسفندسان مشاهده کرد. مقادیر ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}C$) انسان دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم با انسان و بز/گوسفندسانان تمدن خراسان بزرگ و مقدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) آنها هم با بز/گوسفندسانان تمدن خراسان بزرگ فرق دارد (جدول ۴). تفاوت آماری مهمی بین انسان و بز/گوسفندسانان تمدن خراسان بزرگ وجود ندارد.

در تپه چلو مقادیر ایزوتوپ کربن و نیتروژن در نمونه‌های انسانی تفاوت آشکاری با تپه حصار و تپه پردیس دارد؛ بدین معنی که در تپه چلو میانگین مقادیر نیتروژن در هر دو زیرمجموعهٔ زمانی و میانگین مقادیر کربن در زیرمجموعهٔ تمدن خراسان بزرگ نسبت به همهٔ زیرمجموعه‌های تپه حصار بالاتر است. در هر دو مورد، تفاوت‌ها از نظر آماری معنادار هستند: برای تپه پردیس و فرهنگ بلخی‌مروی تپه چلو در مقابل هر سه زیرمجموعهٔ تپه حصار آزمون کروسکال ـ والیس H=45.7 (N=98, p<0.0001) کربن ($\delta^{13}C$) و در مقایسه‌های چندگانه مقدار p کمتر از ۰٫۰۵ است. تفاوت بین دو زیرمجموعهٔ چلو و پردیس از نظر آماری زیاد نیست و زیرمجموعهٔ قدیمی‌تر چلو با تپه حصار هم تفاوت زیادی ندارد (جدول ۵). برای آزمون کروسکال ـ والیس H=37.24 نیتروژن (δ15N) (N=96، از

دو نقطهٔ پرت با کمترین مقدار صرف نظر شد، ($p<0.0001$) و در مقایسه‌های چندگانه مقدار p در هردو زیرمجموعهٔ زمانی تپه چلو در مقابل هرسه زیرمجموعهٔ حصار و نمونه‌های پردیس کمتر از ۰٫۰۵ است. هیچ تفاوت آماری معناداری بین تپه پردیس و تپه حصار وجود ندارد و سه زیرمجموعهٔ تپه حصار هم با یکدیگر تفاوت خاصی نشان نمی‌دهند (شکل ۳).



شکل ۲. توزیع مقادیر کربن ($\delta^{13}C$) و نیتروژن ($\delta^{15}N$) در انسان‌ها و جانورانِ تپه چلو.



شکل ۳. توزیع مقادیر کربن ($\delta^{13}C$) و نیتروژن ($\delta^{15}N$) در تپه چلو، تپه حصار و تپه پردیس.

جدول ۱. مقادیر ایزوتوپ پایدار کربن و نیتروژن در استخوان‌های انسانی از تپه چلو.

گور	جنس	دوره	نمونه	%coll	%N	$\delta^{15}N$	%C	$\delta^{13}C$	C/N
ترانشهٔ ۲۶، گور ۱	زن	بلخی‌مروی	استخوان بلند	4.6	7.4	14.23	22.7	−17.60	3.08
ترانشهٔ ۲۷، گور ۱	مرد	بلخی‌مروی	استخوان بلند	3.9	10.8	14.89	33.1	−18.52	3.08
ترانشهٔ ۲۷، گور ۲	مرد	بلخی‌مروی	استخوان بلند	2.0	2.8	14.82	9.5	−17.95	3.37
ترانشهٔ ۲۹، گور ۳	مرد	بلخی‌مروی	استخوان بلند	4.4	10.5	12.75	32.6	−17.79	3.10
ترانشهٔ ۲۹، گور ۴	مرد	بلخی‌مروی	مهره	2.4	14.1	15.58	44.5	−15.94	3.16
ترانشهٔ ۲۹، گور ۵	مرد	بلخی‌مروی	استخوان بلند	2.9	7.9	14.34	24.3	−17.98	3.08
ترانشهٔ ۲۹، گور ۶	؟	مس‌سنگی/مفرغ قدیم	استخوان بلند	2.0	2.5	15.58	8.2	−19.69	3.23
ترانشهٔ ۳۰، گور ۱	؟	مس‌سنگی/مفرغ قدیم	استخوان بلند	3.7	8.7	15.50	27.1	−18.55	3.11
ترانشهٔ ۳۵، گور ۱	زن	بلخی‌مروی	استخوان بلند	1.8	7.8	15.18	24.5	−18.23	3.14
ترانشهٔ ۴۰، گور ۱	مرد	مس‌سنگی/مفرغ قدیم	استخوان بلند	1.2	14.0	7.36	44.7	−20.33	3.18
ترانشهٔ ۴۱، واحد ۰	؟	بلخی‌مروی	استخوان بلند	2.6	14.9	15.01	46.7	−18.09	3.13
ترانشهٔ ۴۱، واحد ۱	؟	بلخی‌مروی	بند انگشت	2.5	8.5	15.39	27.0	−17.38	3.18
ترانشهٔ ۴۳، C1	زن	مس‌سنگی/مفرغ قدیم	استخوان بلند	1.8	4.3	15.68	13.6	−19.45	3.12
ترانشهٔ ۴۱، CR6	زن	مس‌سنگی/مفرغ قدیم	جمجمه	2.2	6.1	16.22	19.4	−19.72	3.15

جدول ۲. مقادیر ایزوتوپ پایدار کربن و نیتروژن در استخوان‌های جانوری از تپه چلو.

گور	گونه	نمونه	%coll	%N	$\delta^{15}N$	%C	$\delta^{13}C$	C/N
ترانشهٔ ۲۶، گور ۴	شغال	استخوان بلند	2.5	6.1	10.98	19.1	−17.97	3.12
ترانشهٔ 41E، گور ۶	بز/گوسفندسان	مهره اطلس	2.2	13.0	13.79	41.5	−18.71	3.18
ترانشهٔ ۲۶، واحد ۴	بز/گوسفندسان	استخوان قاپ	2.3	4.6	12.05	14.4	−16.59	3.14
ترانشهٔ ٤١، واحد ۲	بز/گوسفندسان	بند انگشت	2.2	9.6	10.44	30.4	−17.50	3.18
ترانشهٔ ۲۹، گور ۵	بز/گوسفندسان	لگن	1.9	13.4	15.63	42.6	−15.74	3.17
ترانشهٔ ۴۱، گور ۲	بز/گوسفندسان	بند انگشت	1.5	1.9	11.49	6.3	−17.37	3.34
ترانشهٔ ۲۹، گور ۷	بز/گوسفندسان	بند انگشت	1.5	6.4	6.22	20.6	−18.58	3.20

جدول ۳. آمار مقادیر ایزوتوپ پایدار کربن و نیتروژن در تپه چلو (بدون نمونه‌های استثناء) و نمونه‌های مورد مقایسه در تپه حصار (Afshar *et al*., 2019) و تپه پردیس (Ramaroli *et al*., 2010).

محوطه	گونه	گاهنگاری	تعداد	ایزوتوپ‌های پایدار کربن			ایزوتوپ‌های پایدار نیتروژن		
				median	mean	SD	median	mean	SD
تپه چلو ۱	انسان	۳۴۰۰–۲۴۰۰ ق‌م	4	−19.57	−19.35	0.55	15.63	15.75	0.33
تپه چلو ۲	انسان	۲۳۰۰–۱۷۰۰ ق‌م	9	−17.95	−17.72	0.75	14.89	14.69	0.85
تپه چلو	بز/گوسفندسان	۲۳۰۰–۱۷۰۰ ق‌م	5	−17.37	−17.18	1.11	12.05	12.68	2.05
تپه حصار ۱	شغال	۲۳۰۰–۱۷۰۰ ق‌م	1	−17.97	−17.97		10.98	10.98	
تپه حصار ۲	انسان	۴۳۰۰–۳۷۰۰ ق‌م	8	−19.80	−19.79	0.36	11.90	11.85	0.74
تپه حصار ۳	انسان	۳۷۰۰–۲۹۰۰ ق‌م	11	−19.40	−19.55	0.46	12.50	12.20	1.00
تپه پردیس	انسان	۲۹۰۰–۱۷۰۰ ق‌م	49	−19.80	−19.65	0.50	12.30	12.21	0.90
		۱۶۵۰–۱۲۰۰ ق‌م	16						

جدول ۴. نتیجهٔ آزمایش کروسکال ـ والیس برای نمونه‌های انسانی و جانوری تپه چلو.

	H	p	مقایسه‌های چندگانه (p)		
			مس‌سنگی/مفرغ قدیم در مقایسه با تمدن خراسان بزرگ	مس‌سنگی/مفرغ قدیم در مقایسه با بز/گوسفندسانان	تمدن خراسان بزرگ در مقایسه با بز/گوسفندسانان
ایزوتوپ‌های پایدار کربن	9.08	0.011	0.049	0.011	1.000
ایزوتوپ‌های پایدار نیتروژن	8.28	0.016	0.122	0.013	0.659

جدول ۵. مقادیر 'z مقایسه چندگانه کروسکال ـ والیس برای نمونه‌های انسانی تپه چلو، حصار و پردیس. داده‌های ایزوتوپ پایدار کربن در بالا و داده‌های ایزوتوپ پایدار نیتروژن در پایین نشان داده شده است. خاکستری روشن ـ مقادیر مهم در $p<0.05$؛ خاکستری تیره ـ مقادیر مهم در $p<0.01$؛ زرد ـ مقادیر مهم در $p<0.001$.

محوطه و زیرمجموعه		۱	۲	۳	۴	۵	۶
1	1		2.90	0.75	0.11	0.56	2.16
2	2	0.48		4.21	3.72	5.18	1.22
3	3	3.52	3.84		0.80	0.43	3.55
4	4	3.02	3.27	0.84		0.62	2.97
5	5	3.23	3.83	1.24	0.24		4.76
6	6	4.17	4.90	0.41	1.46	2.26	

بحث

قابل‌توجه‌ترین اثر مشاهده‌شده در نمونه‌های چلو مقادیر بسیار بالای نیتروژن ($\delta^{15}N$) در بیشتر نمونه‌های انسانی و بز/گوسفندسانان است. در تپه چلو میانگین مقادیر نیتروژن نسبت به دو مکان باستانی دیگر که آنها هم روی مخروطه‌افکنه قرار دارند بالاتر است (جدول ۳). بین میزان بارش سالانه و میانگین مقدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) در نسوج انسانی همبستگی منفی وجود دارد (Grócke *et al*., 1997) ولی بارش نسبتاً کم در تپه چلو اثر مشاهده‌شده را به‌طور کامل توضیح نمی دهد. میانگین بارش سالانهٔ امروزی در چلو ۲۳۰ میلی‌متر است که از تپه حصار با کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر (Meder, 1989) و تپه پردیس با ۱۵۰ میلی‌متر (Beaumont, 1968) بیشتر است؛ ولی برخلاف الگوی مورد انتظار میانگین مقدار نیتروژن در این دو مکان مقایسه‌شده بسیار کمتر است. به‌علاوه، شغال تپه چلو نه تنها از انسان، بلکه از حیوانات اهلی هم مقدار نیتروژن کمتری نشان می‌دهد که برخلاف غنی‌سازی نیتروژن ۱۵ (^{15}N) مورد انتظار در جانوران گوشتخوار است. وجود نقاط پرت انسان و حیوان با مقادیر نیتروژن($\delta^{15}N$) بسیار پایین‌تر هم نشان می‌دهد که باید به دنبال عامل خاص‌تری نسبت به خشکی بود. احتمال دیگر مصرف زیاد پروتئین‌های حیوانی در رژیم غذایی است، به‌ویژه از حیوانات آبزی (Robson *et al*., 2016). این هم عامل محتملی نیست که منجر به افزایش زیاد مقادیر نیتروژن ($\delta^{15}N$) در تپه چلو شود، چون ۱) دست کم در زیرمجموعهٔ فرهنگ بلخی‌مروی انسان و بز/گوسفندسانان تقریباً با یک سطح تغذیه‌ای انطباق دارند و ۲) در اکوسیستم محلی چلو که فقط رودخانه‌های فصلی و یا شور در آن پیدا می‌شود ماهی‌های آب شیرین وجود ندارد. بنابراین، محتمل‌ترین توضیح برای مقادیر بالای نیتروژن ($\delta^{15}N$) میزان زیاد استفاده از کود حیوانی است که نشان‌دهندهٔ الگوی کشاورزی فشرده است (Styring *et al*., 2016) و با کشاورزی بومی این منطقه همخوانی دارد.

باتوجه به بارندگی کم در این منطقه، کشاورزی دیم بسیار پرخطر بود و از سویی مخروط‌افکنهٔ رودخانهٔ دربند در صورت آبیاری امکان عمل‌آوری محصول قابل‌اطمینانی داشت، ولی سطح محدود اراضی مخروط‌افکنه ایجاب می‌کرد برای افزایش بهره‌وری کشاورزی اقداماتی انجام شود که استفاده از کود حیوانی در همین راستا بود. مقادیر بالای نیتروژن ($\delta^{15}N$) در بز/گوسفندسانان که از گوشتخواران وحشی محلی هم بالاتر است نشان می‌دهد نه تنها از پهن حیوانات برای کوددهی اراضی کشاورزی استفاده می‌شده، بلکه از زیست تودهٔ گیاهان زراعی (مثلاً به عنوان کُلش) هم حداقل برای

تغذیه حیواناتی که با انسان‌ها دفن شده استفاده کرده‌اند. چنین ترکیبی از کشاورزی فشرده با دامپروری خانگی منجر به افزایش مقادیر نیتروژن انسانی از طریق اجزای رژیم غذایی گیاهی و حیوانی شد. در درهٔ فرات میانی در سوریه، جایی که کشاورزی فشردهٔ دشت سیلابی در اوج مقدار جمعیت باعث افزایش قابل‌توجه مقادیر نیتروژن در انسان شد، هم اثر مشابهی دیده شده است (Sołtysiak and Schutkowski, 2018).

برخی شواهد باستان‌شناسی که حین کاوش پیدا شده است تفسیر بالا از مقادیر زیاد ایزوتوپ‌های نیتروژن ($\delta^{15}N$) در بین نمونه‌های چلو را تأیید می‌کند. حین کاوش در تپه چلو تعداد زیادی چاله‌های مستطیل شکل به ابعاد ۲ در ۱٫۵ متر با فواصل نسبتاً زیاد در نقاط مختلف ضلع غربی اثر پیدا شد که به مرحلهٔ قدیمی‌تر استقرار، یعنی دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم تاریخ‌گذاری شده‌اند. این گودال‌ها پر از خاکستر نرم بود ولی آثار حرارت‌دیدگی یا هرگونه عملیاتی که نیازمند دمای زیاد باشد در آنها وجود نداشت. کاوشگران حدس زده‌اند که این چاله‌ها برای انبار کردن کود حیوانی مورد نیاز برای کوددهی زمین‌های کشاورزی اطراف استقرارگاه ایجاد شده است (وحدتی و بیشونه، ۱۳۹۳؛ Vahdati *et al.*, 2019).

مقدار نیتروژن در یک نمونهٔ انسانی و یک نمونهٔ بز/گوسفندسان در تپه چلو، نسبت به افراد دیگر این محوطه و نیز نمونه‌های دو مکان مورد مقایسه بسیار پایین‌تر است و این تفاوت به قدری زیاد است که می‌توان حدس زد محیطی که آنها قبل از دفن در تپه چلو در آنجا زیسته و رشد کرده‌اند نه تنها کود بسیار کمتری دریافت کرده، بلکه رطوبت بیشتری هم داشته است. از آنجایی که آنها دو زیرمجموعهٔ زمانی متفاوت را نشان می‌دهند، احتمال دارد وجود آنها نشان‌دهندهٔ تماس نسبتاً محدودی با جمعیتی باشد که در مکان‌های مرطوب‌تر زندگی می‌کردند، جایی که فعالیت‌های کشاورزی فشرده ضروری نبود. نزدیکترین مکان با چنین شرایطی دشت گرگان با میانگین بارندگی سالانهٔ ۳۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر یا حتی کرانهٔ دریای مازندران است. این منطقه فقط ۱۵۰ کیلومتر در جهت شمال‌غربی با چلو فاصله دارد و از طریق گذرگاه‌های کوهستانی مناسب به دشت جاجرم متصل می‌شود.

در جمعیت انسانی دورهٔ مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم، تمام مقادیر کربن ($\delta^{13}C$) با رژیم غذایی مبتنی بر منابع سه کربنه (C_3)، بدون سهم یا با سهم بسیار اندک از گیاهان چهار کربنه (C_4) سازگار است. انسان و حیوانات فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ از این نظر با زیرمجموعه‌های قدیمی‌تر تفاوت قابل‌توجهی دارند و در رژیم غذایی آنها منابع چهار کربنه (C_4) فراوان‌تر بوده است. به‌علاوه، میانگین مقدار کربن ($\delta^{13}C$) در بز/گوسفندسانان فرهنگ بلخی‌مروی، بدون تأثیر آفِست سطح تغذیه‌ای، نسبت به انسان‌ها منفی‌تر است.

شواهد باستان‌شناسی حاکی از آن است که در آسیای مرکزی و شمال‌شرق ایران از دوران نوسنگی تا پایان فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ، کشاورزی سنتی مبتنی بر آبیاری و کشت گندم و جو رواج داشته است (Miller, 1999). در هزارهٔ دوم ق‌م، با ورود ارزن و بعدها برنج، الگوی کشاورزی چینی به سمت غرب گسترش یافت (Spengler, 2015). ذرت خوشه‌ای یا ارزن ایتالیایی در هیچ محوطهٔ باستانی فرهنگ بلخی‌مروی در شمال کپه‌داغ پیدا نشده (Stevens *et al.*, 2016)، ولی در مجموعه‌های باستان‌گیاه‌شناختی هم‌دوره در شمال و شرق آسیای مرکزی همچون بگاش (حدود ۲۲۰۰ ق‌م) و اوجاقلی (حدود ۱۶۰۰ ق‌م) گزارش شده است (Frachetti *et al.*, 2010). با این حال، در اواخر هزارهٔ دوم ق‌م، کشت ارزن به سراسر آسیای مرکزی و شمال ایران گسترش یافت (Spengler, 2015). مقادیر کربن بالای ۱۶‰ در دست‌کم یک نمونهٔ انسانی و یک نمونهٔ بز/گوسفندسان از چلو را شاید بتوان نشانهٔ حضور اولیهٔ ارزن در این منطقه تلقی کرد. ارزن تنها غلهٔ چهارکربنه (C_4) است که احتمال کشت آن در این منطقه وجود دارد و همزمان می‌توان از آن برای مصرف انسان و علوفهٔ دام استفادهٔ کرد، ولی پیدا نشدن شواهد مستقیم باستان‌گیاه‌شناسی از بقایای استقراری هم‌دوره باعث می‌شود نتوان این احتمال را پذیرفت. تغییر مشهود به سمت مقادیر کربن ($\delta^{13}C$) منفی کمتر در زیرمجموعهٔ فرهنگ بلخی‌مروی و نبود آفست سطح تغذیه‌ای بین بز/گوسفندان‌سانان و انسان‌ها را شاید بتوان به روش متفاوتی هم توضیح داد.

در ایران و آسیای مرکزی گیاهان وحشی چهارکربنه (C_4) در مراتع، به‌ویژه در نواحی خشک و شور، نسبت به مناطقی که آب‌وهوای معتدل‌تری دارند فراوان‌تر هستند. مقادیر ایزوتوپ کربن ($\delta^{13}C$) حیوانی موجود از جنوب‌غرب ترکمنستان و دشت قزوین در ایران (به ترتیب ‰ ۱۷٫۹- و ۱۷٫۷- ‰) نسبت به مقادیر ایزوتوپ کربن حیوانی ترکیه و یونان (میانگین ۲۰٫۱‰) بیشتر و متغیرتر است (Bocherens *et al.*, 2000). در گونور تپه شواهد مستقیمی وجود دارد که بز/گوسفندسانان در مناطق حاشیهٔ مخروط‌افکنه‌ها یا

اراضی نیمه‌بیابانی به چرا برده می‌شدند و گیاهان چهار کربنه (C_4) مثل علف شور (Salsola) و ارزن (Setaria) را که شاخصهٔ استپ‌های بیابانی درختچه‌ای است، می‌خوردند (Moore *et al.*, 1994). ممکن است شوری، اثر مصرف گیاه چهار کربنه (C_4) را بیشتر کند که تاحدی باعث افزایش مقدار ایزوتوپ‌های کربن ($\delta^{13}C$) و نیتروژن ($\delta^{15}N$) در گیاهان شود (van Groenigen and van Kessel, 2002). بنابراین، مقدار ایزوتوپ کربن ($\delta^{13}C$) در چلو نشان می‌دهد که جمعیت مرحلهٔ آغاز شهرنشینی (مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم) به دامداری خانگی اشتغال داشتند و دام‌های خود را بیشتر با مازاد محصولات کشاورزی تغذیه می‌کردند. بعدها، احتمالاً به‌دلیل فشار جمعیت مربوط به رشد شهرنشینی، ناچار شدند مراتع اطراف اراضی کشاورزی را به‌صورت گسترده‌تری مورد بهره‌برداری قرار دهند که این موضوع باعث شد نه تنها تغییر قابل‌توجهی در کربن ($\delta^{13}C$) به سمت مقادیر منفی‌تر ایجاد شود، بلکه باعث افزایش‌هایی در مقادیر نیتروژن ($\delta^{15}N$) نیز شد، چرا که این مراتعِ پیرامونی از نظر نیتروژن ۱۵ (^{15}N) به اندازهٔ اراضی زیر کشت مخروط‌افکنه با کود حیوانی به‌صورت فشرده غنی‌سازی نشده بودند. مقایسهٔ این وضعیت با سایر محوطه‌ها حاکی از آن است که الگوی اقتصاد کشاورزی‌ـدامداری موجود در تپه چلو در سراسر کوهپایه‌های جنوبی البرز و آلاداغ که در آنجا مخروط‌افکنه و کویر به هم می‌رسند معمول نبوده است. در تپه حصار و پردیس میانگین مقادیر نیتروژن ($\delta^{15}N$) بسیار پایین‌تر بود که نشان می‌دهد کوددهی به اندازهٔ تپه چلو فشرده نبوده است. احتمالاً دلیل این امر وسعت بیشتر اراضی مناسب کشاورزی در تپه حصار و پردیس در مقایسه با اراضی محدود کشاورزی در تپه چلو است. همچنین، به‌نظر می‌رسد، راهبرد معیشت در تپه حصار نسبت به چلو پایدارتر بوده است؛ چون میانگین مقدار کربن و نیتروژن طی سه هزاره در این محوطه ثابت مانده بود. از سوی دیگر، نه تنها در زیرمجموعهٔ فرهنگ بلخی‌مروی چلو، بلکه در نمونه‌های تپه پردیس هم که از همه زیرمجموعه‌ها جدید تر بود، میانگین مقدار کربن ($\delta^{13}C$) بالاتر بود. بنابراین، ممکن است گذار به رمه‌گردانی که در استپ خشک/شور انجام می‌شد، نوآوری گسترده‌تری بود که در پایان هزارهٔ سوم ق‌م شکل گرفته بود و طی هزارهٔ دوم ق‌م به سراسر حاشیهٔ شمالی فلات مرکزی ایران گسترش یافت. با این وجود، برای اثبات این احتمال ضروری است بقایای انسانی ریزدانه‌تری از مکان‌های باستانی مختلف این منطقه بررسی شود.

نتیجه‌گیری

هرچند تپه چلو در فرهنگ بلخی‌مروی/تمدن خراسان بزرگ یک مکان حاشیه‌ای است، نتیجهٔ پژوهش بر ایزوتوپ‌های پایدار کربن و نیتروژن، امکان شناخت تغییرات عمدهٔ اقتصادی را که بین مراحل آغازشهرنشینی (مس‌وسنگ پایانی/مفرغ قدیم) و شهرنشینی تمام عیار (تمدن خراسان بزرگ) در جمعیت کشاورزی محلی رخ داد، فراهم کرده است. در هر دو دوره، با آبیاری اراضی مخروط‌افکنه و حجم بالای کوددهی با کود حیوانی که باعث افزایش مقدار نیتروژن ($\delta^{15}N$) محلی می‌شد، محصولات کشاورزی به‌صورت فشرده کشت شد. تغییر مقادیر کربن ($\delta^{13}C$) بین دو مرحلهٔ سکونت در چلو به احتمال زیاد به‌دلیل تغییر الگوی دامپروری، با بهره‌برداری گسترده‌تر از استپ شور و خشک به عنوان مرتع بود. احتمالاً افزایش جمعیت در زمین‌های محدود زیر کشت و نیاز به جستجوی منابع جایگزین، انتخاب چنین راهبردی را اجتناب‌ناپذیر کرده بود. چنین تغییری با تطور کلی الگوهای معیشتی محلی از کشاورزی کوچک‌مقیاس (از طریق الگوهای مختلف کشاورزی‌ـدامداری) به کوچ‌گردی و دامپروری به سبک رمه‌گردانی که در عصر آهن در آسیای مرکزی غالب بود (Spengler, 2015) و آن‌طور که شواهد تپه پردیس نشان می‌دهد شاید به بخش شمالی فلات مرکزی ایران هم گسترش یافته بود، مطابقت دارد.

سپاسگزاری

کاوش‌های باستان‌شناسی در تپه چلو با حمایت پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری و مجوز پژوهشکدهٔ باستان شناسی انجام شده است. از مدیران وقت این مراکز سپاسگزاریم. از آنا گرزاک (Anna Grężak) برای شناسایی تاکسونومی استخوان‌های جانوری تشکر می‌کنیم. همچنین از مرجان مشکور و مارگارتا تنگبرگ که نسخهٔ اولیهٔ این مقاله را خواندند و پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه کردند، قدردانی می‌کنیم. بودجهٔ این پژوهش از محل برنامهٔ ملی توسعهٔ علوم انسانی از سوی وزارت علوم و آموزش عالی لهستان برای سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۶ میلادی تأمین شده است.

کتاب‌نامه

وحدتی، علی‌اکبر و رافائله بیشونه، ۱۳۹۲. گزارش مقدماتی فصل دوم کاوش هیئت مشترک ایران ـ ایتالیا در تپه چلو، سنخواست، پاییز ۱۳۹۲، کتابخانه و مرکز اسناد پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی کشور (منتشرنشده).

وحدتی، علی‌اکبر و رافائله بیشونه، ۱۳۹۳. گزارش مقدماتی فصل سوم کاوش هیئت مشترک ایران ـ ایتالیا در تپه چلو، سنخواست، پاییز ۱۳۹۲، کتابخانه و مرکز اسناد پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی کشور (منتشرنشده).

وحدتی، علی‌اکبر، رافائله بیشونه، مارگارتا تنگبرگ و مرجان مشکور، ۱۳۹۷. «کاوش در تپه چلو: شواهدی از مجموعه باستان‌شناختی بلخی‌مروی در دشت جاجرم»، باستان‌شناسی، ۱(۱): ۷۴-۶۳.

Afshar, Z., A. Millard, C. Roberts, and D. Gröcke, 2019. "The Evolution of Diet During the 5th to 2nd Millennium BCE for the Population Buried at Tepe Hissar, North-eastern Central Iranian Plateau: The Stable Isotope Evidence", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 27: 101983.

Ambrose, S. H., 1990. "Preparation and Characterization of Bone and Tooth Collagen for Isotopic Analysis", *Journal of Archaeological Science*, 17 (4): 431-451.

Aubin, J., 1971. "Réseau pastoral et réseau caravanier. Les grand'routes du Khurassan a l'époque mongole", in *Le monde iranien et l'Islam: Sociétés et cultures*, vol. 1. Genève & Paris: Libraire Droz & M.J. Minard, pp. 105-130.

Beaumont, P., 1968. "Qanats on the Varamin Plain, Iran", *Transactions of the Institute of British Geographers*, 45: 169-179.

Ben-David, M., and E. A Flaherty, 2012. "Stable isotopes in mammalian research: A beginner's guide", *Journal of Mammalogy*, 93 (2): 312-328.

Biscione, R., and A. A. Vahdati, 2020. "The BMAC Presence in Eastern Iran. State of Affairs in December 2018 - towards the Greater Khorasan Civilization?", in B. Lyonnet and N. A. Dubova (eds.), *The world of the Oxus Civilization*. New York: Routledge, pp. 1-24.

Bocherens, H., M. Mashkour, and D. Billiou, 2000. "Palaeoenvironmental and Archaeological Implications of Isotopic Analyses (13C, 15N) from Neolithic to Present in Qazvin Plain (Iran)", *Environmental Archaeology*, 5 (1): 1-19.

Brown, T. A., D. E. Nelson, J. S. Vogel, and J. R. Southon, 1988. "Improved Collagen Extraction by Modified Longin Method", *Radiocarbon*, 30 (2): 171-177.

Chisholm, B. S., D. E. Nelson and H. P. Schwarcz, 1982. "Stable-carbon Isotope Ratios as a Measure of Marine Versus Terrestrial Protein in Ancient Diets", *Science*, 216 (4550): 1131-1132.

Collins, M. J., C. M. Nielsen-Marsh, J. Hiller, C. I. Smith, J. P. Roberts, R. V. Prigodich T. J. Wess, J. Csapò, A. R. Millard, G. Turner-Walker, 2002. "The Survival of Organic Matter in Bone: A Review", *Archaeometry*, 44 (3): 383-394.

DeNiro, M. J., 1985. "Postmortem Preservation and Alteration of in Vivo Bone Collagen Isotope Ratios in Relation to Palaeodietary Reconstruction", *Nature*, 317 (6040): 806-809.

DeNiro, M. J., and S. Epstein, 1981. "Influence of Diet on the Distribution of Nitrogen Isotopes in an Animals", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 341-351.

Fazeli, H., R. A. E. Coningham, R. L. Young, G. K. Gillmore, M. Maghsoudi, and H. Raza, 2007. "Socio-economic Transformations in the Tehran Plain: Final Season of Settlement Survey and Excavations at Tepe Pardis", *Iran*, 45 (1): 267-285.

Fetner, R. A., 2016. *The Impact of Climate Change on Subsistence Strategies in Northern Mesopotamia: The Stable Isotope Analysis and Dental Microwear Analysis of Human Remains from Bakr Awa (Iraqi Kurdistan)*, Ph.D. Dissertation, Warszawa: University of Warsaw (Unpublished).

Frachetti, M. D., 2006. "The Dzhungar Mountains Archaeology Project: Reconstructing Bronze Age Life in the Mountains of Eastern Kazakhstan", in D. L. Peterson, L. M. Popova, and A. T. Smith (eds.)", *Beyond the Steppe and the Sown: Proceedings of the 2002 University of Chicago Conference on Eurasian Archaeology*, Leiden and Boston: Brill, pp. 122-141.

Frachetti, M. D., R. N. Spengler, G. J. Fritz, and A. N Mar'yashev, 2010. "Earliest Direct Evidence for Broomcorn Millet and Wheat in the Central Eurasian Steppe Region", *Antiquity*, 84 (326): 993-1010.

Fraser, R. A., A. Bogaard, T. Heaton, M. Charles, G. Jones, B. T. Christensen, P. Halstead, I. Merbach, P. R. Poulton, D. Sparkes, A. K. Styring, A. K. Styring, 2011. "Manuring and Stable Nitrogen Isotope Ratios in Cereals and Pulses: Towards a New Archaeobotanical Approach to the Inference of Land Use and Dietary Practices", *Journal of Archaeological Science*, 38 (10): 2790-2804.

Gröcke, D. R., H. Bocherens, and A. Mariotti, 1997. "Annual Rainfall and Nitrogen-isotope Correlation in Macropod Collagen: Application as a Palaeoprecipitation Indicator", *Earth and Planetary Science Letters*, 153 (3-4): 279-285.

Jacob, E., D. Querci, M. Caparros, C. Barroso Ruiz, T. Higham, and T. Devièse, 2018. "Nitrogen Content Variation in Archaeological Bone and Its Implications for Stable Isotope Analysis and Radiocarbon Dating", *Journal of Archaeological Science*, 93: 68-73.

Koocheki, A., 1986. "Dryland Farming in Iran and Its Impact on Rangelands and Nomadic Life", *Rangelands*, 8 (6): 265-266.

Lamberg-Karlovsky, C. C., 2013. "The Oxus Civilization", *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de La Universidad Autónoma de Madrid*, 39: 21-63.

Lee-Thorp, J. A., 2008. "On Isotopes and Old Bones", *Archaeometry*, 50 (6): 925-950.

Lightfoot, E., G. Motuzaite-Matuzeviciute, T. C. O'Connell, I. A. Kukushkin, V. Loman, V. Varfolomeev, X. Liu, M. Jones, 2015. "How 'Pastoral' Is Pastoralism? Dietary Diversity in Bronze Age Communities in the Central Kazakhstan Steppes", *Archaeometry*, 57: 232-249.

Luneau, É., 2019. "Climate Change and the Rise and Fall of the Oxus

Civilization in Southern Central Asia", in L. E. Yang, H.-R. Bork, X. Fang, and S. Mischke (eds.), *Socio-Environmental Dynamics along the Historical Silk Road,* Cham: Springer International Publishing, pp. 275-299.

Ma, J. Y., W. Sun, X. N. Liu, and F. H. Chen, 2012. "Variation in the Stable Carbon and Nitrogen Isotope Composition of Plants and Soil along a Precipitation Gradient in Northern China. *PLOS ONE*, 7 (12), e51894.

Marshall, J. D., R. Brooks, and K. Lajtha, 2007. "Sources of Variation in the Stable Isotopic Composition of Plants", in R. Michener and K. Lajtha (eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science,* Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing, pp. 22-60.

Meder, O. G., 1989. "The Geomorphological and Ecological Setting of Tappeh Hesār in the Damghān Plain", in R. H. Dyson (ed.), *Tappeh Hesār: Reports of the Restudy Project, 1976*, Firenze: Le Lettere, pp. 7-13.

Miller, N. F., 1999. "Agricultural Development in Western Central Asia in the Chalcolithic and Bronze Ages", *Vegetation History and Archaeobotany*, 8 (1-2): 13-19.

Moeller, N., 2018. *The Archaeology of Urbanism in Ancient Egypt: From the Predynastic Period to the End of the Middle Kingdom* (First paperback edition). Cambridge & New York: Cambridge University Press.

Moore, K. M., N. F Miller, F. T. Hiebert, and R. H. Meadow, 1994. "Agriculture and Herding in the Early Oasis Settlements of the Oxus Civilization", *Antiquity*, 68 (259): 418-427.

Peel, M. C., B. L. Finlayson, and T. A. McMahon, 2007. "Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification", *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (5): 1633-1644.

Possehl, G. L., 2007. "The Middle Asian Interaction Sphere", *Expedition*, 49 (1): 40-42.

Pyankov, V. I., H. Ziegler, H. Akhani, C. Deigele, and U. Lü ttge, 2010. "European Plants with C4 Photosynthesis: Geographical and Taxonomic Distribution and Relations to Climate Parameters", *Botanical Journal of the Linnean Society*, 163 (3): 283-304.

P'yankova, L., 1994. "Central Asia in the Bronze Age: Sedentary and Nomadic Cultures", *Antiquity*, 68 (259): 355-372.

Ramaroli, V., J. Hamilton, P. Ditchfield, H. Fazeli, A. Aali, R. A. E. Coningham, and A. M. Pollard, 2010. "The Chehr Abad "Salt men" and the Isotopic Ecology of Humans in Ancient Iran", *American Journal of Physical Anthropology*, 143 (3): 343-354.

Riehl, S., R. Bryson, and K. Pustovoytov, 2008. "Changing Growing Conditions for Crops During the Near Eastern Bronze Age (3000-1200 BC): The Stable Carbon Isotope Evidence", *Journal of Archaeological Science*, 35 (4): 1011-1022.

Robson, H. K., S. H. Andersen, L. Clarke, O. E. Craig, K. J. Gron, A. K. G. Jones, N. Milner, T. D. Price, K. Ritchie, Z. K. Mirosława, C. Heron, 2016. "Carbon and Nitrogen Stable Isotope Values in Freshwater, Brackish and Marine Fish Bone Collagen from Mesolithic and Neolithic Sites in Central and Northern Europe", *Environmental Archaeology*, 21 (2): 105-118.

Rouse, L. M., 2015. *A Line in the Sand: Archaeological Evidence for the Interactions of Settled Farmers and Mobile Pastoralists in the Late Bronze Age (1950-1500 BC) Murghab Alluvial Fan, Turkmenistan,* PhD dissertation, St. Louis: Washington University (Unpublished).

Rudov, A., M. Mashkour, M. Djamali and H. Akhani, 2020. "A Review of C4 Plants in Southwest Asia: An Ecological, Geographical and Taxonomical Analysis of a Region with High Diversity of C4 Eudicots", *Frontiers in Plant Science*, 11: 546518.

Sołtysiak, A. and H. Schutkowski, 2018. "Stable Isotopic Evidence for Land Use Patterns in the Middle Euphrates Valley, Syria", *American Journal of Physical Anthropology*, 166 (4): 861-874.

Sołtysiak, A., A. A. Vahdati and R. Biscione, 2016. "Human Remains from Tepe Chalow, Iran, 2013-2015", *Bioarchaeology of the Near East*, 10: 91-96.

Spengler, R. N., 2015. "Agriculture in the Central Asian Bronze Age", *Journal of World Prehistory*, 28 (3): 215-253.

Stevens, C. J., C. Murphy, R. Roberts, L. Lucas, F. Silva, and D. Q. Fuller, 2016. "Between China and South Asia: A Middle Asian Corridor of Crop Dispersal and Agricultural Innovation in the Bronze Age", *The Holocene*, 26 (10): 1541-1555.

Styring, A. K., M. Ater, Y. Hmimsa, R. Fraser, H. Miller, R. Neef, J. A. Pearson, and A. Bogaard, 2016. "Disentangling the Effect of Farming Practice from Aridity on Crop Stable Isotope Values: A Present-day Model from Morocco and its Application to Early Farming Sites in the Eastern Mediterranean", *The Anthropocene Review*, 3 (1): 2-22.

Szpak, P., T. J. Orchard, I. McKechnie, and D. R. Gröcke, 2012. "Historical Ecology of Late Holocene Sea Otters (Enhydra Lutris) from Northern British Columbia: Isotopic and Zooarchaeological Perspectives", *Journal of Archaeological Science*, 39 (5): 1553-1571.

Tengberg, M., 2013. "Économies vé gé tales et environnements en Asie centrale du Né olithique a l'é poque sassanide: La contribution des disciplines arché obotaniques", in J. Bendezu-Sarmiento (ed.), *L'archéologie français en Asie Centrale: Nouvelles recherches et enjeux socioculturels*, Paris: IFEAC, pp. 545-558.

Thornton, C. P., 2013. "The Bronze Age in Northeastern Iran", in D. T. Potts (ed.), *The Oxford Handbook of Ancient Iran,* Oxford: Oxford University Press, pp. 179-202.

Ur, J. A., 2010. "Cycles of civilization in Northern Mesopotamia, 4400-2000 BC", *Journal of Archaeological Research*, 18 (4): 387-431.

Vahdati, A. A., & R. Biscione, 2021. "The Bronze Age Necropolis of Chalow: Insights into the Funeral Practices of «BMAC» People in North-Eastern Iran", in V. A. Alyokshin, E. V. Antonova, N. A. Dubova, R. G. Muradov, R. M. Sataev, A. A. Tishkin, and A. V. Fribus (eds.), *Gonur Depe Studies in 2015-2019*, Moscow: N.N. Miklukho-Maklay Institute of Ethnology and Anthropology RAS; Institute for the History of Material Culture RAS; Margiana Archaeological Expedition; Altai State University, pp. 193-214.

Vahdati, A. A., R. Biscione, R. La Farina, M. Mashkour, M. Fathi, and F. Mohaseb, 2019. "Preliminary Report on the First Season of Excavations at Tepe Chalow. New GKC (BMAC) Finds in the Plain of Jajarm, NE Iran", in J.-W. Meyer, E. Vila, M. Mashkour, M. Casanova, and R. Vallet (eds.), *The Iranian Plateau During the Bronze Age. Development of Urbanisation, Production and Trade*, Lyon: Maison de l'Orient et de la Méditerranée & Jean Pouilloux, pp. 179-200.

van Groenigen, J.-W., and C. van Kessel, 2002. "Salinity-induced Patterns of Natural Abundance Carbon-13 and Nitrogen-15 in Plant and Soil", *Soil Science Society of America Journal*, 66 (2): 489-498.

van Klinken, G. J., 1999. "Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements", *Journal of Archaeological Science*, 26 (6): 687-695.