



دانشگاه گبید کاووس

نشریه "حفظ از زیست بوم گیاهان"

دوره دوازدهم، شماره بیست و چهارم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

## علمی-پژوهشی

### مطالعه بیوسیستماتیکی جمعیت‌های *Helianthus tuberosus* L. در شمال ایران

نسترن اعلاه<sup>۱</sup>، آرمان محمودی اطاوری<sup>۲\*</sup>، احسان نظیفی<sup>۳</sup>، پیروز عزیزی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشآموخته کارشناسی ارشد سیستماتیک-اکولوژی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

<sup>۲</sup>دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

<sup>۳</sup>استادیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

<sup>۴</sup>استاد گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

#### چکیده

گیاه سیب‌زمینی ترشی با نام علمی *Helianthus tuberosus* L. نیم قرن است که به ایران وارد شده است و به صورت بومی رشد می‌کند. جمعیت‌های آن از استان‌های گیلان، مازندران و گلستان به منظور بررسی‌های تاکسونومی عددی و کمotaکسونومی جمع آوری شد. برای مطالعه تاکسونومی عددی اندام‌های رویشی و زایشی مطالعه شدند و ۶۱ صفت کمی و کیفی سنجیده شد. به منظور گروه‌بندی جمعیت‌ها از روش تجزیه خوش‌های استفاده شد. در مطالعه کوتاکسونومی، سنجش متابولیت‌های ثانویه انجام شد. داده‌ها با استفاده از آنالیزهای آماری و آزمون دانکن بررسی شدند و میزان اختلاف جمعیت‌ها بررسی شد. آنالیز خوش‌بندی صفات کمی و کیفی تفاوت معنی‌داری بین خصوصیات مورد مطالعه نشان داد. در مطالعه مورفومتری مولفه اصلی اول با ۲۴/۷ درصد از واریانس کل، بیشترین مقدار واریانس را دارا بود که صفاتی چون قطر ساقه، طول و عرض برگ و کاسبرگ بیشترین نقش را در تفکیک جمعیت‌ها داشتند. در مطالعه شیمیو‌سیستماتیک مولفه اصلی اول با ۴۰/۹۷ درصد که شامل صفاتی چون فروکتوز، اینولین و ترکیبات فنلی بود که موثرترین صفات در تفکیک جمعیت‌ها بود. دندروگرام حاصل به خوبی جمعیت‌ها را از هم تمیز داد و جمعیت‌های هر استان در شاخه‌های نزدیک به هم قرار گرفتند که نشان‌دهنده درصد مشابهت در صفات مورد بررسی بوده است. از آنجاکه این گیاه یک محصول منحصر به فرد در جهت تأمین نیازهای صنعتی و دارویی است، تعیین بهترین جمعیت برای تکثیر آن می‌تواند موثر واقع شود.

واژگان کلیدی: اسپکتروفوتومتری، فیتوشیمی، سیب‌زمینی ترشی، متابولیت ثانویه، مورفومتری

با پراکندگی جهانی نشان می‌دهد (Funk et al, 2005). خانواده Asteraceae به طور گسترده در سراسر جهان در انواع زیستگاه‌های اکولوژیکی، به جز قطب جنوب پراکنده شده است (Eruygur et al, 2019). Asteraceae یکی از تکامل‌یافته‌ترین خانواده‌های گیاهان نهاندانه است و به دلیل سازگاری‌های گسترده، مورفولوژیکی، تشریحی، فیزیولوژیکی و زیست‌محیطی برای توزیع گسترده، انتشار و موفقیت باروری با گیاهان خانواده Orchidaceae در بین

#### مقدمه

جنس *Helianthus tuberosus* L. اولین بار در سال ۱۷۵۳ توسط لینه معرفی شد. این جنس متعلق به قبیله Asteraceae از خانواده Heliantheae، یک جنس چندشکلی (Polymorphic) است و شامل ۱۰۰ گونه است که بیشتر از آمریکای شمالی هستند (Bailey, 1929-30). تیره Asteraceae یکی از بزرگترین خانواده‌های گیاهی نهاندانه در بین دوله‌های هاست که بر اساس تعداد زیادی گونه (۱۶۲۰ جنس و ۲۳۶۰۰ گونه) این خانواده گیاهی را

\*نویسنده مسئول: Botany1347@gmail.com

غربی و مرکزی، در حاشیه مزارع به صورت محدود مشاهده می شود که ریشه های غده ای آن در اوایل پاییز برداشت می شود.

بخش هوایی این گیاه به صورتی انبوه رشد می کند و بسیار پربرگ و علفی است و ارتفاع آن به ۳ متر نیز می رسد (Stauffer et al., 1975). این گیاه با تیپ فتوسنتری C3، از گونه های آفتتابگردان فصل های گرم، بومی مناطق آمریکای شمالی است و از قرن ۱۷ در اروپا رشد کرده است و بیش از نیم قرن است که به ایران وارد شده و فراگیر شده است.



شکل ۲- ریشه های غده ای *Helianthus tuberosus*

گیاهان این خانواده از نظر اقتصادی مهم هستند و بسیاری از محصولات روغنی مانند آفتتابگردان، گلنگ و غیره را تولید می کنند. سبزیجاتی مانند کنگ فرنگی، کاهو و غیره؛ گیاهان زینتی مانند کوکب، گل جعفری، ستاره، آفتتابگردان، گل داودی و همینطور گیاهان دارویی مانند گل همیشه بهار، بابونه، آفسنطین، خار مریم، کاسنی و گیاهان خودرو مانند قاصدک، گل سرخی و غیره (et al., 2009, Basu et al., 2014).

سبزه مینی ترشی به عنوان یکی از امیدوار کننده ترین محصولات زیست انرژی چند منظوره در دنیا در نظر گرفته می شود. این گیاه از آغاز قرن بیستم، در هند، افغانستان و مصر شناخته شده است و به عنوان یک محصول با ارزش علوفه ای، غذایی و دارویی در ایالات متحده آمریکا، کانادا، استرالیا، ژاپن و برخی کشورهای دیگر کشت شده است (Manokhina et al., 2022).

با توجه به کاربردهای بی شمار این گیاه دارویی، این پژوهش با هدف بررسی جمعیت های این گیاه از جنبه های مورفومتری و فیتوشیمیایی صورت گرفت.

تک لبه ای ها قبل مقایسه است ( Heywood et al., 2007; Nikolić, M., & Stevović, 2015).

*Helianthus* با نام علمی *Jerusalem artichoke* از زیرخانواده *Asteroideae* است. سیب زمینی ترشی از نظر رویشی، گیاهی علفی و چندساله است. این گیاه ریزوم دار است که دارای گل آذین کپه محدب و کوچکتر از آفتتابگردان است. برگ ها تخم مرغی شکل با قاعده قلی و راس سرنيزه ای و نوک تیزند. برطبق فلور ایران پراکندگی این گیاه در استان های دماوند و کرمان به ثبت رسیده است (مظفریان و همکاران، ۱۳۹۷). ارتفاع این گیاه از ۱۵۰ تا ۲۰۰ سانتی متر بوده و با سرعت زیاد رشد می کند (Slimestad et al., 2010).

متغیر است، احتمالاً تا حدی ناشی از هیبریداسیون با پلی-پلوئیدهای دیگر، از جمله *H. pauciflorus* و *H. strumosus resinosus* گسترده ای به عنوان یک گونه علف هرز گسترش یافته است که تشخیص پراکندگی اصلی آن دشوار است (Flora of North America).

شرق ایالات متحده و مکزیک مناطق منشأ *H. tuberosus* هستند (Wein, 1963).

گیاه دارای مزایای زیادی است؛ زیرا در برابر استرس زیستی، یعنی آفات و بیماری ها مقاوم است (Kaszás et al., 2020).

می تواند به طور معمول در طیف وسیعی از خاک ها از جمله خاک متاثر از نمک، خاک شنی و زمین های حاشیه ای با سطوح کوددهی تقریباً صفر رشد کند (Zelenko et al., 2019; Starovoytov et al., 2017; Zoric et al., 2017) و علاوه بر این، مقاومت بالقوه ای در برابر خشکسالی، یخ بندان و دمای بالا نشان دهد (Koundinya et al., 2019).



شکل ۱- گیاه *Helianthus tuberosus*

اطلاعات مکتوبی در مورد کشت این گیاه در ایران وجود ندارد، اما در بسیاری از نقاط کشور، به ویژه مناطق شمالی،

استفاده می شد. بر اساس شواهد آشکار، صفات گیاهی به طور غریزی توسط بشر از قرن های گذشته به کار گرفته شده است (Jones and Luchsing, 1986). اطلاعات ناقص از ترکیبات متabolیتی گیاهان، توانایی حل مشکلات تاکسونومی را برای یافتن محصولات طبیعی جدید یا خواص دارویی گیاهان محدود می کند (Kang et al., 2017). Temkov و همکاران در سال ۲۰۱۵، اینولینی را که با روش های مختلف از گیاه *H. tuberosus* به دست آمده بود، به صورت کیفی مقایسه کردند. da Fonseca Contado و همکاران در سال ۲۰۱۵، اینولین و سایر فروکتان ها را از گیاه *Smallanthus Sonchifolia* با استفاده از اتانول در دماهای مختلف استخراج کردند.



شکل ۴ - اندازه گیری های تاکسونومی عددی

سپس با استفاده از متد آنترون میزان قند اندازه گیری شد. میلانی و همکاران (۱۳۸۹) پژوهشی با عنوان بهینه سازی استخراج اینولین از غده سیب زمینی ترشی به کمک روش سطح پاسخ (RSM) ارائه دادند. بر اساس نتایج این تحقیق، نسبت آب به ماده جامد، دما و زمان به ترتیب موثرترین فاکتورها در استخراج اینولین بودند. تحقیقات زیادی درباره تنوع فیتوشیمیایی گونه های مختلف جنس *Helianthus* در ایران و جهان صورت گرفته است. غده های سیب زمینی ترشی به سیب زمینی شباهت دارند، به استثنای اینکه غده های این گیاه حاوی ۷۵-۸۰ درصد کربوهیدرات هستند که به شکل اینولین ذخیره شده است (Cieslike, 1998). این غده ها محتوی ۱۵-۱۶ درصد کربوهیدرات، از نوع پلیمرهای D- فروکتوز یا اینولین، به همراه واحدهای گلوکز در انتهای زنجیره هستند (Chekroun et al., 1996). از دیگر مواد موثر در این گیاه، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در اکثر اندام-

تاکسونومی عددی<sup>۲</sup> که مورفومتری نیز نامیده می شود، به گروه بندی واحدهای طبقه بندی با روش های عددی به گونه ها بر اساس حالت خصوصیات ظاهری آنها می پردازد (Sneath & Sokal, 1973) تجزیه و تحلیل خوش های و تجزیه و تحلیل اجزای اصلی دو تکنیکی هستند که معمولاً در طبقه بندی عددی استفاده می شود.



شکل ۳ - نمونه ای از رویشگاه *Helianthus tuberosus*

تجزیه و تحلیل خوش های یک طبقه بندی سلسه مراتبی از موجودیت ها (تاکسون ها) بر اساس ماتریس شباهت ایجاد می کند. بنابراین ابزاری منطقی برای بیان رابطه موجود بین گونه ها و جمعیت ها فراهم می کند. مطالعات تاکسونومی عددی برای کشف و مستند سازی ویژگی های مورفولوژیکی و حالات خصوصیات جدید حائز اهمیت است و تلاش های زیادی در این زمینه برای درک روابط فنتیک در گروه های مختلف گیاهان صورت گرفته است (Mulumba and Kakudidi, 2010; Deshmukh, 2011; Rahman and Rahman, 2012).

برخی از اولین مقالات در سیستماتیک گیاهی با روش مورفومتری، به یک مکتب تاکسونومی عددی مربوط می شوند. توسعه این مکتب به اواخر سال های ۱۹۵۰ و پیش رفت و گسترش آن به سال های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ و مربوط می شود که منجر به استفاده از مورفومتری و آمار چند متغیره شد. تجزیه و تحلیل خوش های یک ابزار اکتشافی برای طبقه بندی نمونه ها است و در این روش معمولاً نتایج به صورت نمودار درختی یا دندرو گرام ۳ نشان داده می شوند (Sneath & Sokal, 1973).

**کمو تاکسونومی<sup>۳</sup>** مطالعه سیستماتیک ترکیبات شیمیایی در بین تاکسون های گیاهی است. شواهد اثبات می کند که ترکیبات شیمیایی ضروری گیاهان برای اهداف رده بندی

<sup>4</sup> Chemotaxonomy

<sup>2</sup> Numerical taxonomy

کشف شباهت‌ها و تفاوت‌ها در بین جمعیت‌های آن خواهد گردید. نتایج مطالعات تاکسونومی عددی و کمotaکسونومی در کنار هم، کمک شایانی به بهبود روابط بین جمعیت‌های *H. tuberosus* بهترین جمعیت‌ها از نظر مواد موثر و ترکیبات دارویی خواهد شد.

#### مواد و روش‌ها

جمعیت‌های مورد مطالعه در این پژوهش از رویشگاه‌های طبیعی آنها در سه استان شمالی کشور شامل گیلان، مازندران و گلستان (منطقه اکولوژیکی هیرکانی) جمع‌آوری گردید (شکل ۱). نمونه‌برداری‌های انجام‌شده از این سه استان شامل ۲۰ جمعیت از گونه *H. tuberosus* بود که در فصل پاییز و در زمان گلدھی جمع‌آوری شدند. مشخصات جغرافیایی جمعیت‌های جمع‌آوری‌شده در جدول ۱ نشان داده شده است.

های گیاهان دارویی وجود دارند که غلطت و ماهیت آنها در هر اندام متفاوت است (Lincoln et al., 1986). در برخی جنس‌های این خانواده، ترکیباتی از جمله هسپریدین، الچیک اسید، رزمارینیک اسید، کومارین، وانیلین، اوگنول Najafian and Moradi (2017). گیاهان خانواده Asteraceae منابع غنی اسید کلروژنیک هستند. اسیدهای کلروژنیک دارای فعالیت‌های ضدپیروسی، آنتی‌اکسیدانی، ضدجهش‌زا، ضدالتهابی و مهار رادیکال هستند. علاوه بر این، *H. tuberosus* به عنوان یک محصول چندمنظوره شناخته شده است که بخش هوایی آن توجه بسیاری از محققان را از نظر تولید انرژی زیستی به دلیل محتوای سلولری و عملکرد زیست توده بالا، به خود جلب کرده است (Majewski et al., 2020).

از آنجاکه این گیاه تنها گونه *Helianthus* در ایران است، نتیجه این مطالعات درجهت آشکارسازی و بهبود وضعیت تاکسونومیکی جمعیت‌های این گیاه در منطقه هیرکانی و شناسایی دقیق‌تر این گیاه کمک نموده و موجب



شکل ۵- منطقه مطالعاتی

جدول ۱- مختصات جغرافیایی جمعیت‌های جمع‌آوری‌شده *H. tuberosus*

جمعیت‌ها	رویشگاه	طول و عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
1	استان گلستان، گلوگاه	36.7284° N, 53.8102° E	20,5
2	استان گلستان، گرگان	36.8456° N, 54.4393° E	-15
3	گلستان، فرق، کوهپایه ای	36.8456° N, 54.4393° E	506,5
4	گلستان، قرق، جلگه ای	36.8456° N, 54.4393° E	-17
5	مازندران، بهشهر	36.6953° N, 53.5365° E	-11,8
6	مازندران، محمودآباد	36.6329° N, 52.2667° E	-23,5
7	مازندران، بابلسر	36.7049° N, 52.6547° E	-21,9
8	مازندران، نوشهر	36.6494° N, 51.4887° E	-18,0
9	مازندران، سلمان شهر	36.7025° N, 51.1951° E	-19,0
10	مازندران، عباس آباد	36.6459° N, 51.4070° E	-21,0
11	مازندران، تنکابن ۱	36.8155° N, 50.8716° E	-21,4
12	مازندران، تنکابن ۲	36.8155° N, 50.8716° E	-21,4
13	مازندران، رامسر	36.9268° N, 50.6431° E	-21,5
14	مازندران، بیشه کلا(محمودآباد)	36.6509° N, 52.3560° E	21,5
15	مازندران، نور	36.5750° N, 52.0268° E	-20,5
16	گیلان، آستانه اشرفیه استان	37.2598° N, 49.9437° E	-21,5
17	گیلان، تالش	37.8016° N, 48.9073° E	-0,3
18	گیلان، لنگرود	37.1878° N, 50.1575° E	-20,3
19	گیلان، صومعه سرا	37.3049° N, 49.3178° E	-20,3
20	گیلان، شفت	37.1703° N, 49.4017° E	-20,3

۱۸ صفت کمی و ۴۳ صفت کیفی برای جمعیت‌های *H. tuberosus* تعریف و اندازه‌گیری شدند. به منظور ثبت نتایج دقیق‌تر، برای هر صفت از هر جمعیت حداقل ۵ تکرار انجام شد و سپس میانگین تکرارهای هر صفت برای جمعیت مورد نظر محاسبه گردید. پس از ثبت همه داده‌های اندازه‌گیری شده، حالات و اندازه‌های مختلف صفات، به صورت عددی کددھی شد و مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تشریح بخش‌های مختلف گیاهان، از استریو میکروسکوپ (مدل Trom T101G Novel) استفاده گردید.

### مطالعه تاکسونومی عددی

در مطالعه ریخت‌شناسی و تاکسونومی عددی تمام اندام‌های رویشی و زایشی نمونه‌ها مطالعه شدند. قبل از شروع مطالعات مورفومتری ابتدا منابع مطالعاتی موجود شامل کتب، مقالات، فلور آمریکای شمالی و فلور ایران بررسی شدند و سپس ۶۱ صفت مورفو‌لوزیکی برای این مطالعه در نظر گرفته شد (Flora of North America). به منظور نظری مورفومتری (ریخت‌شناسی)، پس از تهیه نمونه‌ها به صورت هرباریوم، صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- صفات ریخت شناسی کمی در مطالعه تاکسونومی عددی

واحد اندازه گیری	صفات	تعداد	واحد اندازه گیری	صفات	تعداد
سانتی متر	طول برگ های میانی	۱۰	سانتی متر	طول ساقه	۱
سانتی متر	عرض برگ های میانی	۱۱	سانتی متر	قطر ساقه	۲
سانتی متر	طول دمگل	۱۲	سانتی متر	طول کاسبرگ	۳
سانتی متر	طول دندانه برگ	۱۳	سانتی متر	طول گلبرگ	۴
سانتی متر	نسبت طول به عرض برگ	۱۴	سانتی متر	عرض گلبرگ	۵
سانتی متر	طول دمگل	۱۵	سانتی متر	عرض برگها در میانه	۶
سانتی متر	فاصله بین دندانه های برگ	۱۶	سانتی متر	عرض گل آذین	۷
سانتی متر	عرض ناحیه دمگل	۱۷	سانتی متر	طول برگ های انتهایی	۸
سانتی متر	طول میانگره	۱۸	سانتی متر	عرض برگ های انتهایی	۹

جدول ۳- صفات ریخت شناسی کیفی در مطالعه تاکسونومی عددی

صفات	تعداد	صفات	تعداد	صفات	تعداد	صفات	تعداد
حالت سه رگبرگ اصلی	۳۴	تعداد گلبرگ زبانه ای	۲۳	تراکم کرک برگ	۱۲	ساقه سبز رنگ	۱
تعداد رگبرگ های اصلی	۳۵	گلچه لوله ای منشعب	۲۴	سایز کرک برگ	۱۳	ساقه ارغوانی	۲
حضور برآکته	۳۶	حالت گلبرگ زبانه ای	۲۵	ضخامت کرک برگ	۱۴	حالت مقطع عرضی ساقه	۳
حالت حاشیه برآکته	۳۷	ضخامت کرک روی	۲۶	نقاط زرد رنگ روی ساقه	۱۵	نقاط زرد رنگ روی ساقه	۴
حلقه سلولی اطراف کرک	۳۸	تراکم کرک روی	۲۷	تراکم کرک زیر	۱۶	تراکم نقاط زرد رنگ روی ساقه	۵
تراکم سلولی حلقه اطراف کرک	۳۹	رگبرگ اصلی	۲۸	پهنک برگ	۱۷	نقاط زرد رنگ زیر پهنک برگ	۶
نوع کرک	۴۰	حالت قاعده برگ	۲۹	آرایش برگ	۱۸	فرم پهنک برگ	۷
حالت کرک روی رگبرگ اصلی	۴۱	تراکم نقاط زرد رنگ	۳۰	رگبندی برگ	۱۹	تعداد کاسبرگ	۸
نوع رگبندی	۴۲	حالت پهنک برگ جوان	۳۱	حالت پهنک برگ	۲۰	تراکم کرک های ساقه	۹
فاصله بین دندانه های برگ	۴۳	حالت پهنک برگ مسن	۳۲	حالت دندانه برگ	۲۱	سایز کرک ساقه	۱۰
		سه رگبرگ اصلی	۳۳	کرک روی دمبرگ	۲۲	ضخامت کرک ساقه	۱۱

### تهیه عصاره مтанولی

سنجش فنل، فلاونوئید و فلاونول کل

ابتدا  $0.05\text{ g}\text{ram}$  از اندام هوایی با  $5\text{ میلی لیتر}$  مтанول  $80^{\circ}\text{C}$  درصد مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت  $10\text{ دقیقه}$  در دستگاه امواج ماورای صوت آبی قرار گرفت. محلول به مدت  $10\text{ دقیقه}$  با سرعت  $5000\text{ rpm}$  (مدل Stigma 3-30) سانتریفیوژ شد، سپس برای سنجش میزان فنل، فلاونول و فلاونوئید کل استفاده شد. به  $250\text{ میکرولیتر}$  از عصاره مтанولی حاصل،  $1/25\text{ میلی لیتر}$  فولین  $10\text{ درصد اضافه شد}.$  پس از قرارگیری در تاریکی  $1\text{ میلی لیتر}$  کربنات سدیم به مخلوط واکنش اضافه شد و جذب مخلوط در طول موج  $765\text{ نانومتر}$  توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Philler

### مطالعات کموتاکسونومی

#### اسپکتروفوتومتری

در این روش برگ‌های خشک شده توسط آسیاب برقی پودر شدند. تعدادی از متabolیت‌های گیاهی شامل فنل، فلاونوئید، فلاونول، آنتوسیانین، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی از کربوهیدرات‌های محلول با عصاره‌گیری‌های ویژه هر دسته از متabolیت‌ها، استخراج و پس از آماده‌سازی با استفاده از دستگاه UV-VIS Spectrophotometer (SU 6100) سنجش شدند. تمام سنجش‌ها با  $3\text{ تکرار}$  انجام شد.

میلی مولار به خوبی مخلوط شد. نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در دستگاه امواج فرا صوت آبی به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ rpm در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند و از محلول رویی به منظور بررسی قند استفاده شد. به منظور بررسی میزان قند موجود، از روش آنترون استفاده شد به این صورت که به  $\frac{1}{5}$  میلی لیتر از محلول به دست آمده، ۴۷۵ میکرولیتر بافر پتابسیم فسفات ۵۰ میلی مولار و سپس به آن ۲۵ میکرولیتر از محلول به دست آمده،  $\frac{2}{5}$  میلی لیتر محلول آنترون  $\frac{1}{10}$  درصد اضافه شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها در حمام آب، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۲۵ (فروکتوز) و ۵۲۰ نانومتر (اینولین- پلیمر فروکتوز) ثبت شد. همچنین از استاندارد فروکتوز برای بررسی داده‌های به دست آمده استفاده گردید (Jermyn, 1956).

### سنجر آنتوسیانین کل

ابتدا عصاره‌گیری با متانول اسیدی (متانول و کلریدریک اسید ۱:۹۹) انجام شد و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس با سرعت ۵۰۰۰ rpm در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. در نهایت جذب محلول رویی در طول موج ۵۵۰ نانومتر ثبت شد و میزان آنتوسیانین با استفاده از ضرب خاموشی ( $A = b \cdot c$ ) محاسبه گردید ( $A = \text{جذب} - \text{عرض کوت} - \text{غلاظت محلول مورد نظر}$ ) (Wagner, 1979; Masukasu, 2006).  
رابطه ۱

### سنجر رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل و کاروتونوئید

ابتدا عصاره‌گیری با استن ۸۰ درصد انجام شد و مخلوط حاصل به وسیله صافی (واتمن) جداسازی شد، سپس در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ ثبت شد و میزان کلروفیل a، b و کاروتونوئید با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد ( $A = \text{جذب} - V = \text{حجم عصاره} - W = \text{وزن نمونه}$ ) (Arnon, 1949; Lichtenthaler, 1987).  
رابطه ۲

$$\text{Chlorophyll a} = (12.7 * A_{663} - 2.69 * A_{645})$$

$V/100W$

رابطه ۳

$$\text{Chlorophyll b} = (22.9 * A_{645} - 4.68 * A_{663})$$

$V/100W$

(Scientinc Su 100 فنلی اسید گالیک به عنوان استاندارد برای کمی کردن نتایج استفاده شد و در نهایت میزان فنل کل بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک (mg g<sup>-1</sup> DW) بیان گردید (Aniworth and Gillespie, 2007) فلاؤنول کل، به یک میلی‌لیتر عصاره، یک میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۲ درصد و ۳ میلی‌لیتر سدیم استات ۵ درصد اضافه شد. جذب این مخلوط در طول موج ۴۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. در این سنجر با استفاده از غلاظت‌های مختلف روتین نمودار استاندارد تهیه گردید و در آخر میزان فلاؤنول کل بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بیان شد (Miliauskas, 2004). محتوای فلاؤنونوئید کل به روش رنگ سنجی آلومینیوم کلراید اندازه‌گیری شد. به ۲ میلی‌لیتر عصاره، ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد و همین‌طور ۱۰۰ میکرولیتر پتابسیم استات یک مولار به مخلوط افزوده گردید و در نهایت جذب محلول در طول موج ۴۱۵ نانومتر ثبت شد. از ترکیب فنلی روتین به عنوان استاندارد برای کمی کردن نتایج به دست آمده استفاده شد و در آخر میزان فلاؤنونوئید کل بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بیان گردید (Akkol, 2008; Miliauskas, 2004).

### سنجر کربوهیدرات‌های محلول گلوکز

به منظور سنجر قندهای محلول، ۰/۰۵ گرم از اندام هوایی گیاه  $\frac{1}{5}$  میلی‌لیتر بافر پتابسیم فسفات ۱۰ مولار به خوبی هموژن شد. نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در دستگاه ماوراء صوت آبی به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰ rpm در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند و محلول رویی برای اندازه‌گیری میزان قند مورد استفاده قرار گرفت. به  $\frac{1}{5}$  میلی‌لیتر از عصاره به دست آمده،  $\frac{1}{5}$  میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و  $\frac{2}{5}$  میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه شد. در نهایت جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر ثبت شد و از استاندارد گلوکز برای بررسی داده‌های به دست آمده استفاده شد (Akkol and Goger, 2008).

### فروکتوز و اینولین

ابتدا ۰/۰۵ گرم از اندام هوایی و غده‌های زیرزمینی هر جمعیت وزن شد و با  $\frac{1}{5}$  میلی‌لیتر بافر پتابسیم فسفات ۵۰

WARD. در خوشبندی سلسله‌مراتبی به روش از آنجاکه تعداد خوشها قبل از گروه‌بندی مشخص نیست، ابتدا میانگین متغیرها در داخل هر خوش محاسبه شد، سپس برای هر مشاهده، میانگین خوشها محاسبه گردید. صفات مربوط به هر جمعیت اندازه‌گیری شدند. به تمام SPSS صفات کد اختصاصی تعلق گرفت و با نرم‌افزار دنдрوگرام و اسکری پلات رسم شد تا روابط بین جمعیت‌ها به‌وضوح مشخص شود. صفات پس از اندازه‌گیری و کددھی، تجزیه و تحلیل شد و نمودار خوشبندی سلسله‌مراتبی آنان با استفاده از روش WARD مطالعه شد.

رابطه ۴

$$\text{Carotenoids} = [((1000 * A_{470}) - (1.82 * \text{chl. a}) - (85.02 * \text{chl. b})) / 198] V / 1000W$$

## نتایج

## مطالعه تاکسونومی عددی

برای تعیین دوری و نزدیکی بین گونه‌ها و جمعیت‌های مورد مطالعه در این پژوهش از آنالیز تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) و آزمون دانکن استفاده گردید. برای به‌دست-آوردن تعداد عوامل اصلی جداکننده جمعیت‌ها از نمودار اسکری پلاتو برای آنالیز داده‌ها از تجزیه خوشها استفاده

جدول ۴- مقادیر صفات کمی و کیفی جمعیت‌های مورد مطالعه

جمعیت‌ها	طول نمونه	طول گلبرگ و عرض گلبرگ	تعداد	طول	حالات	تعداد کاسبرگ	طول کاسبرگ	حالات برگ مسن	رنگ	ساقه	ارگوانی	
											نیزه‌ای	نیزه‌ای
۱. گلستان، گلوگاه	۱۶۰	۱۲	۵/۵	۱	نیزه‌ای	۱	۲۰	کاسبرگ	۲۰	طول	کاسبرگ	حالات
۲. گلستان، گرگان	۱۵۰	۱۲	۵	۱	پهنه	۱	۲۰	کاسبرگ	۲۰	طول	کاسبرگ	حالات
۳. گلستان، قرق، کوهپایه	۱۵۰	۱۳	۵/۵	۱	نیزه‌ای	۱	۲۵	کاسبرگ	۲۵	طول	کاسبرگ	حالات
۴. گلستان، قرق، جلگه	۱۵۰	۱۲	۵/۵	۱	نیزه‌ای	۱	۲۵	کاسبرگ	۲۵	طول	کاسبرگ	حالات
۵. مازندران، بهشهر	۱۵۰	۱۲	۵/۵	۱	نیزه‌ای	۱	۲۰	کاسبرگ	۲۰	طول	کاسبرگ	حالات
۶. مازندران، محمودآباد	۱۵۰	۱۳	۴/۵	۱/۵	نیزه‌ای	۲	۲۲	کاسبرگ	۲۲	طول	کاسبرگ	حالات
۷. مازندران، بابلسر	۱۵۰	۱۳	۴/۵	۱	پهنه	۱	۲۰	کاسبرگ	۲۰	طول	کاسبرگ	حالات
۸. مازندران، نوشهر	۱۵۵	۱۲	۵	۱	باریک	۱	۲۳	کاسبرگ	۲۳	طول	کاسبرگ	حالات
۹. مازندران، سلمان شهر	۱۶۰	۱۳	۴	۱	نیزه‌ای	۱/۵	۲۲	کاسبرگ	۲۲	طول	کاسبرگ	حالات
۱۰. مازندران، عباس آباد	۱۶۰	۱۳	۴	۱	نیزه‌ای	۱/۵	۲۰	کاسبرگ	۲۰	طول	کاسبرگ	حالات
۱۱. مازندران، تنکابن ۱	۱۵۰	۱۲	۴/۵	۱	نیزه‌ای	۱	۲۳	کاسبرگ	۲۳	طول	کاسبرگ	حالات
۱۲. مازندران، تنکابن ۲	۱۰۰	۱۴	۴	۱/۵	پهنه	۱/۵	۲۵	کاسبرگ	۲۵	طول	کاسبرگ	حالات
۱۳. مازندران، رامسر	۱۵۰	۱۲	۴	۱	نیزه‌ای	۱	۲۰	کاسبرگ	۲۰	طول	کاسبرگ	حالات
۱۴. مازندران، بیشه کلا	۱۵۰	۱۱	۵	۱/۵	پهنه	۲/۵	۲۳	کاسبرگ	۲۳	طول	کاسبرگ	حالات

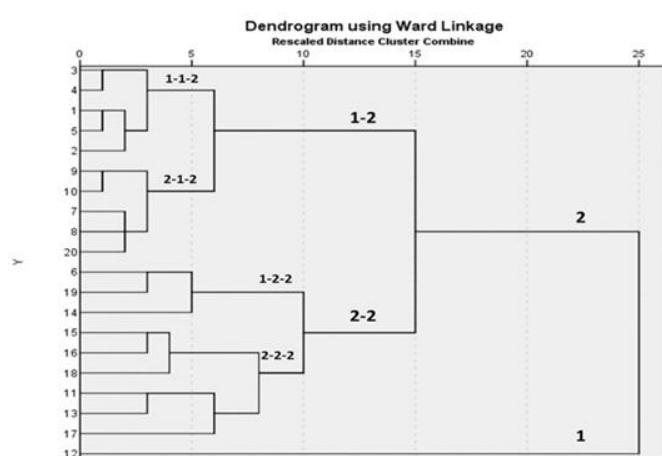
ادامه جدول (۴)										جمعیت ها
نمونه	طول	تعداد	طول	تعداد	حالت	طول	تعداد	حالت	ساقه	ارتفاعی
					گلبرگ			گلبرگ	کاسبرگ	ارتفاعی
۱۵. مازندران، نور	۱۸۰	۱۲	۵/۵	۲/۵	نیزه ای	۱/۵			پهن	ارagoni
۱۶. گیلان، آستانه اشرفیه	۱۸۰	۱۴	۴	۲	نیزه ای	۱			پهن	سبز
۱۷. گیلان، تالش	۱۵۰	۱۳	۴	۲	پهن	۱			ارagoni	ارagoni
۱۸. گیلان، لنگرود	۱۵۰	۱۳	۴	۲	نیزه ای	۱			پهن	سبز
۱۹. گیلان، صومعه سرا	۱۸۰	۱۳	۴	۱	نیزه ای	۱			پهن	سبز
۲۰. گیلان، شفت	۱۶۵	۱۳	۴	۱	نیزه ای				پهن	سبز

از میان ۸ مولفه اصلی تاثیرگذار در واریانس کل، ۳ مولفه اول بیشترین تاثیر را داشته و مولفه های اصلی بعدی علی رغم موثر بودن در ایجاد واریانس، درصد کمی را به خود اختصاص داده اند. مولفه اصلی اول با ۲۴/۷ درصد، بیشترین مقدار واریانس را شامل شده که در برگیرنده ۳۵ صفت کمی و کیفی بوده است. این مولفه صفاتی چون قطر ساقه، طول کاسبرگ، عرض گل آذین کپه، طول برگ در قسمت میانی گیاه، عرض برگ در قسمت میانی، طول دمبرگ، طول برگ در قسمت راسی، طول دندانه حاشیه برگ، طول دمگل، فاصله بین دندانه های برگ، عرض گبرگ، فاصله بین برگ ها، تراکم کرک ساقه و... را دربرمی گیرد.

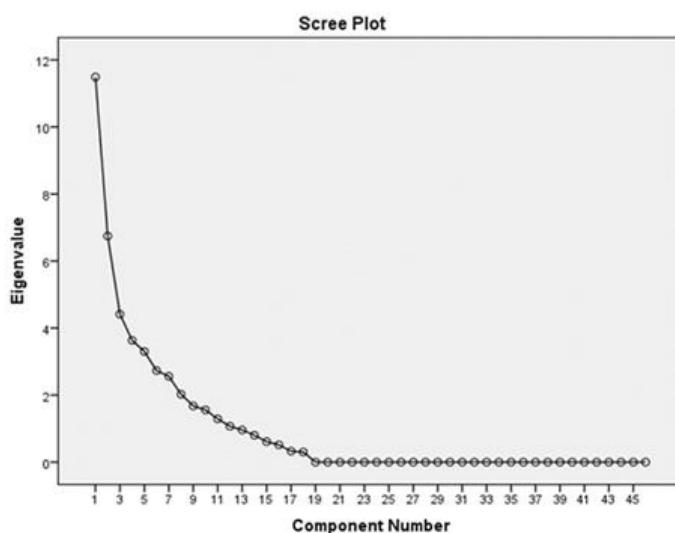
### نتایج حاصل از بررسی نمودار تجزیه و تحلیل خوشه ای WARD

نمودار موبوط به داده های مورفومتری، شاخه اصلی در سطح ۲۵ به دو شاخه فرعی ۱ و ۲ تقسیم گردید که حدود ۷۵ درصد مشابهت صفات را دربرمی گیرد. طبق اطلاعات این نمودار، نمونه مشکوک با کد ۱۲ وجه تشابه کمتری نسبت به نمونه های دیگر داشته است. به منظور تعیین عوامل و صفات مهمی که در جداسازی جمعیت های مورد مطالعه براساس صفات ریخت شناختی، دارای بیشترین تاثیر بوده و باعث تفکیک جمعیت ها از هم شدن، نمودار اسکری پلات برای صفات مورد مطالعه ترسیم شد.

صفات مهم و موثر در تفکیک جمعیت ها در مطالعه تاکسونومی عددی



شکل ۶- نمودار خوشه ای WARD بدست آمده از داده های مورفومتری



شکل ۷- نمودار اسکری پلات حاصل از داده های مورفومتری

ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان آنتوسبیانین بودند. جمعیت‌های شماره ۱۳ (رامسر) و ۷ (بابلسر) از استان مازندران، دارای حداکثر میزان کلروفیل‌ها و جمعیت‌های شماره ۱ (گلوبگاه) و ۴ (قرق جلگه‌ای) دارای حداقل میزان کلروفیل‌های a و b بودند. در بررسی میزان کاروتونوئید نیز جمعیت‌های شماره ۱۶ (آستانه اشرفیه) و ۵ (بهشهر) به ترتیب دارای کمترین و بیشترین میزان بودند. میانگین سه تکرار در جدول زیر آورده شده است.

#### مطالعه کمتوکسیونومی

بررسی میزان فنل، فلاونوئید و فلاونول کل در بین جمعیت‌های جمع‌آوری شده نشان داد که جمعیت‌های شماره ۲۱ (رامسر) از استان مازندران و شماره ۲ (گرگان) از استان گلستان، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان ترکیبات فنلی را نشان دادند. بررسی میزان آنتوسبیانین، کلروفیل a و b و کاروتونوئید کل در بین جمعیت‌های مختلف نشان داد که جمعیت‌های شماره ۸ (نوشهر) و شماره ۱ (گلوبگاه) به-

جدول ۵- مقایسه میزان متابولیت‌های گیاهی در جمعیت‌های *H. tuberosus*

جمعیت‌ها	فنل	فلاونول	فلاونوئید	آنتوسبیانین	کاروتونوئید	کلروفیل b	کلروفیل a
۱	۱۰/۹۵ <sup>ef</sup>	۷/۶۶ <sup>c</sup>	۳۶/۵۹ <sup>efg</sup>	۰/۹۳ <sup>g</sup>	۰/۴۱ <sup>hi</sup>	۰/۴۴fg	۰/۹۰ <sup>h</sup>
۲	۳/۰۷ <sup>k</sup>	۴/۲۹ <sup>g</sup>	۱۵/۷۸ <sup>k</sup>	۱/۶۷ <sup>ef</sup>	۰/۴۵ <sup>ghi</sup>	۱/۴۹ <sup>efg</sup>	۱/۰۵ <sup>g</sup>
۳	۱۱/۳۵ <sup>e</sup>	۶/۵۰ <sup>de</sup>	۳۶/۵۹ <sup>fgh</sup>	۲/۰۰ <sup>bc</sup>	۰/۴۹ <sup>efgh</sup>	۱/۲۹ <sup>efg</sup>	۱/۵۳ <sup>f</sup>
۴	۶/۰۰ <sup>e</sup>	۴/۴۸ <sup>g</sup>	۲۲/۱۱ <sup>g</sup>	۰/۹۷ <sup>g</sup>	۰/۴۴ <sup>ghi</sup>	۰/۴۰ <sup>g</sup>	۰/۸۸ <sup>h</sup>
۵	۶/۰۲ <sup>i</sup>	۶/۲۶ <sup>j</sup>	۲۲/۸۰ <sup>g</sup>	۱/۱۸ <sup>i</sup>	۰/۳۸ <sup>i</sup>	۰/۴۹fg	۰/۹۷ <sup>gh</sup>
۶	۱۳/۹۳ <sup>d</sup>	۶/۶۷ <sup>d</sup>	۳۱/۵۹ <sup>gh</sup>	۲/۱۳ <sup>b</sup>	۰/۴۴ <sup>cdef</sup>	۱/۵۲ <sup>a</sup>	۱/۸۷ <sup>d</sup>
۷	۸/۶۵ <sup>e</sup>	۶/۲۷ <sup>def</sup>	۳۲/۵۹ <sup>fgh</sup>	۱/۹۱ <sup>cd</sup>	۰/۸۱ <sup>cdef</sup>	۱/۶۰ <sup>a</sup>	۲/۰۷ <sup>bc</sup>
۸	۱۳/۹۱ <sup>d</sup>	۵/۸۵ <sup>fgh</sup>	۳۷/۳۷ <sup>def</sup>	۲/۵۲ <sup>a</sup>	۰/۸۹ <sup>cde</sup>	۱/۴۶ab	۲/۰۷ <sup>bc</sup>
۹	۱۶/۰۹ <sup>c</sup>	۷/۳۴ <sup>c</sup>	۴۱/۹۸ <sup>bcd</sup>	۰/۹۸ <sup>g</sup>	۰/۴۹ <sup>ghi</sup>	۰/۶۳ef	۱/۱۲ <sup>g</sup>
۱۱	۱۴/۰۴d	۷/۷۴ <sup>c</sup>	۴۶/۰۱b	۰/۳۳i	۱/۰۱bcd	۱/۴۳ab	۱/۸۹d

## ادامه جدول ۵

کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آنتوسبیانین	فلاؤنوتین	فلاؤنول	فنل	جمعیت ها
۲/۴۱a	۱/۱۰d	۰/۶۴efgh	۱/۵۹fg	۵۳/۵۳a	۸/۳۲b	۱۷/۱۹bc	۱۲
۲/۴۵a	۱/۳۲bc	۱/۰۲bc	۱/۶۱fg	۵۷/۲۴a	۹/۳۶a	۲۰/۵۳a	۱۳
۲/۱۸b	۱/۱۴cd	۰/۶۸efg	۱/۹۶bc	۴۳/۲۲bc	۸/۳۰b	۱۱/۹۳e	۱۴
۲/۳۵a	۱/۱۷cd	۰/۹۸bcd	۱/۸۵cde	۲۹/۶۶ih	۶/۱۶efg	۱۰/۰۷f	۱۵
۲/۱۲b	۱/۱۶cd	۱/۳۲a	۱/۹۳cd	۲۵/۲۶ig	۵/۷۶gh	۶/۰۸i	۱۶
۱/۵۱f	۰/۵۳fg	۰/۶۱fghi	۱/۱۹i	۳۸/۶۲cde	۶/۴۹de	۱۱/۷۳e	۱۷
۱/۶۸e	۱/۰۰d	۱/۱۴ab	۲/۱۵b	۲۲/۹۳g	۶/۶۶h	۷/۳۴h	۱۸
۱/۹۶cd	۰/۹۸d	۰/۷۶def	۱/۴۵gh	۳۲/۸۰fgg	۶/۱۱efg	۹/۸۲f	۱۹
۱/۶۸e	۰/۷۵e	۰/۸۷cde	۱/۷۴def	۲۴/۶۶ig	۶/۰۶efgh	۴/۱۹g	۲۰

اعداد در یک ستون با حروف متفاوت، از نظر آماری با آزمون دانکن در نرم‌افزار (SPSS) در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری هستند. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با هم اختلاف ندارند. مقادیر فنل، فلاؤنول، کاروتنوئید، کلروفیل a و b با واحد میلی گرم بر گرم وزن خشک (mg g<sup>-1</sup> DW) اندازه‌گیری شدند.

جدول ۶- مقایسه میزان کربوهیدرات‌های محلول در جمعیت‌های

کد جمعیت	فروکتوز، برگ	فروکتوز، غده	اینولین، برگ	اینولین، غده	گلوکز، برگ
۱	۱۶۴/۶۳ <sup>b</sup>	۳۳۶	۱۰۰/۶۹ <sup>bc</sup>	۱۹۶/۱۲۵ <sup>lmm</sup>	۲۶۱/۰۶ <sup>bc</sup>
۲	۱۸/۱۹ <sup>g</sup>	۵۱۹	۱۸/۳۸ <sup>i</sup>	۳۳۶/۳۷ <sup>b</sup>	۱۶۰ <sup>g</sup>
۳	۲۴۰ <sup>a</sup>	۴۹۶	۱۳۱/۵۰ <sup>a</sup>	۳۱۵/۷۵ <sup>bcd</sup>	۲۷۷/۱۸ <sup>b</sup>
۴	۱۰۶/۵ <sup>cd</sup>	۴۳۸/۷۵	۱۱۵/۵ <sup>ab</sup>	۲۶۳/۲۵ <sup>gh</sup>	۳۳۷/۹۸ <sup>a</sup>
۵	۱۸۴/۶۹ <sup>b</sup>	۴۸۵/۶۳	۱۰۷/۰۶ <sup>bc</sup>	۳۱۰/۱۴ <sup>bed</sup>	۲۵۷/۲۱ <sup>bc</sup>
۶	۲۴fg	۴۴۲/۵	۲۴/۹۴ <sup>hi</sup>	۲۹۱/۳۸ <sup>def</sup>	۱۶۲/۹۸ <sup>fg</sup>
۷	۴۰/۳۱ <sup>efg</sup>	۴۳۴/۲۵	۳۲/۴۴ghi	۲۸۵/۷۵ <sup>efg</sup>	۱۹۲/۹۸ <sup>de</sup>
۸	۵۲/۶۹ <sup>efg</sup>	۳۲۵/۸۷	۴۰/۳۱ <sup>fgh</sup>	۲۰۴/۳۸ <sup>kl</sup>	۱۶۱/۹۲ <sup>fg</sup>
۹	۱۵۴/۸۸ <sup>b</sup>	۳۸۶/۲۵	۹۲/۲۵ <sup>c</sup>	۲۴۸/۲۵ <sup>hij</sup>	۲۷۰/۳۸ <sup>b</sup>
۱۰	۱۸۹ <sup>b</sup>	۴۵۳/۸۳	۱۱۵/۶۹ <sup>ab</sup>	۳۱۶/۸۷ <sup>bcd</sup>	۱۹۲/۲۵ <sup>de</sup>
۱۱	۵۴/۷۵ <sup>efg</sup>	۴۳۹/۲	۵۵/۱۴ <sup>def</sup>	۲۲۸ <sup>ijkl</sup>	۷۶/۰۲ <sup>h</sup>
۱۲	۳۹/۱۹ <sup>efg</sup>	۴۷۸/۸۷	۳۷/۱۲ <sup>fghi</sup>	۳۰۸/۶۳ <sup>cde</sup>	۵۹/۴۸ <sup>h</sup>

## ادامه جدول ۶

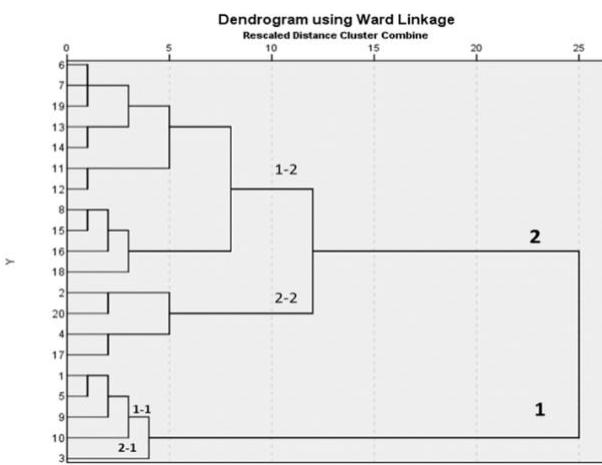
کد جمعیت	فروکتوز، برگ	فروکتوز، غده	اینولین، برگ	اینولین، غده	گلوکز، برگ
۱۳	۷۷/۴۴ <sup>cde</sup>	۵۲/۳۷	۶۱/۳۱ <sup>de</sup>	۳۶۱/۸۷۵ <sup>a</sup>	۲۱۳/۰۷ <sup>d</sup>
۱۴	۷۲/۹۴ <sup>cde</sup>	۳۷۷/۲۵	۴۱/۴۴ <sup>efgh</sup>	۲۵۷/۲۵ <sup>hi</sup>	۲۳۹/۰۱ <sup>c</sup>
۱۵	۷۱/۰۵ <sup>cdef</sup>	۲۹۹/۲۵	۴۷/۶۳ <sup>efg</sup>	۱۷۸/۵ <sup>m</sup>	۲۰۵/۴۸ <sup>de</sup>
۱۶	۷۳/۸۸ <sup>cde</sup>	۴۸۹/۳۷	۴۸/۹۴ <sup>efg</sup>	۳۱۹/۱۳ <sup>bc</sup>	۱۹۲/۵۹ <sup>de</sup>
۱۷	۱۱۳/۲۵ <sup>c</sup>	۴۳۲/۵	۷۰/۵ <sup>d</sup>	۲۷۲/۶۳ <sup>fgh</sup>	۲۵۵/۱۹ <sup>bc</sup>
۱۸	۵۵/۱۳ <sup>efg</sup>	۱۶۶/۸۸	۳۳/۳۸ <sup>ghi</sup>	۹۷/۱۳ <sup>n</sup>	۱۸۳/۲۷ <sup>efg</sup>
۱۹	۳۴/۱۳ <sup>efg</sup>	۴۰۶/۸۷	۲۸/۳۸ <sup>ghi</sup>	۲۵۹/۸۸ <sup>ghi</sup>	۱۸۶/۵۴ <sup>ef</sup>
۲۰	۷۵/۰۹ <sup>defg</sup>	۳۷۸/۷۵	۴۳/۳۱ <sup>efdd</sup>	۲۳۴ <sup>ij</sup>	۲۱۵/۳۸ <sup>d</sup>

\*اعداد در یک ستون با حروف متفاوت، از نظر آماری با آزمون دانکن در نرم‌افزار SPSS در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه با هم اختلاف ندارند. مقادیر همه کربوهیدرات‌ها با واحد میلی‌گرم بر گرم وزن خشک (mg g<sup>-1</sup> DW) به‌غیر از غدها اندازه‌گیری شدند.

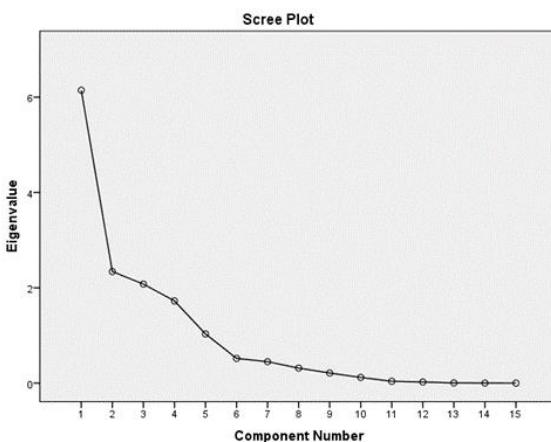
برای مولفه اصلی دوم نیز صفاتی چون مقادیر فنل، فلاونول، فلاونوئید، کلروفیل<sup>a</sup>، فروکتوز و اینولین موجود در برگ‌ها و همچنین فروکتوز و اینولین موجود در غده اهمیت داشتند. برای مولفه اصلی سوم نیز تمامی صفات، جز مقادیر فروکتوز و اینولین غدها دخیل بوده‌اند. همچنین در ایجاد مولفه اصلی چهارم، همه صفات به‌جز مقادیر سطح فنل و فروکتوز و اینولین برگ‌ها موثر بوده‌اند. در این نمودار نیز، شاخه اصلی در سطح ۲۵ به دو شاخه فرعی ۱ و ۲ تقسیم گردید که نشان‌دهنده حدود ۷۵ درصد مشابهت در صفات مورد بررسی است. در این نمودار، جمعیت‌های دارای سطوح مشابه ترکیبات ثانویه به‌هم نزدیک شده و در کنار هم قرار گرفتند.

## نمودارهای به‌دست‌آمده از مطالعه کموتاکسونومی

با توجه به اطلاعات نمودار اسکری پلات ترسیم شده و جدول شرح واریانس‌های صفات فیتوشیمیایی، در می‌باییم که ۵ مولفه اصلی در تفکیک و دسته‌بندی این ۲۰ جمعیت موثر بوده‌اند. مولفه اصلی اول با ۴۰/۹۷ درصد از واریانس کل، تاثیرگذارترین مولفه شناخته شد. مولفه اصلی دوم، ۱۵/۶۰، مولفه اصلی سوم ۱۳/۸۵، مولفه اصلی چهارم ۱۱/۵۰ و مولفه اصلی پنجم ۶/۸۸ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند. با توجه به اطلاعات جدول ماتریکس عوامل دریافت می‌شود که در تشکیل مولفه اصلی اول صفاتی چون میزان قند مانوز، گلوکز، رامنوز، زایلوز، فروکتوز و اینولین برگ‌ها و همچنین فروکتوز و اینولین غدها دخالت داشتند.



شکل ۸- نمودار خوشه ای WARD بسته آمده از مطالعه کموتاکسونومی



شکل ۹- نمودار اسکری پلات حاصل از مطالعه کموتاکسونومی

(Wink, 2003). سیستم رده‌بندی شیمیوتاکسونومیکی به شباهت شیمیایی تاکسون‌ها بستگی دارد (Atal, 1982; Rasoul et al., 2010). محتوای متابولیت‌های گیاهان به نسبت صفات مورفولوژی، اطلاعات بیشتری از فعل و انفعالات و الگوی زیست فعالی گیاهان نشان می‌دهند. طبقه‌بندی مبتنی بر این متابولیت‌ها نه تنها روابط فیلوجنتیکی گیاهان را آشکار می‌کند، بلکه می‌توانند برای ترکیبات زیست فعال گیاهان و خواص آنها مورد مطالعه قرار گیرند و به حل مشکلات تاکسونومی کمک کنند (Liu et al., 2015). فن‌ها، آلkaloidها، ترپنoidها و اسیدهای آمینه غیرپروتئینی چهار گروه مهم از ترکیبات شیمیایی هستند که به‌طور گسترده‌ای برای طبقه‌بندی شیمیوتاکسونومیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ترکیبات گلیکوزیدی نیز می‌توانند ارزش شیمیوتاکسونومی داشته باشند. برای مثال فلاونول‌های گلیکوزیدی می‌توانند نشانگر شیمیوتاکسونومیکی خوبی برای شناسایی گونه‌های گل رز

## بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه تعدادی از صفات کیفی و کمی ریخت‌شناسی و متابولیت‌های موجود در انسان و عصاره‌های مختلف گیاهی به عنوان صفات فیتوشیمیایی در جمعیت‌های *H. tuberosus* در شمال ایران مطالعه شد. نتایج هر دو مطالعه به‌خوبی جمعیت‌ها را از هم تفکیک نمود. برطبق نتایج مطالعه مورفومتری، جمعیت‌های غرب استان مازندران نزدیکی بیشتری با جمعیت‌های استان گیلان داشتند و همچنین جمعیت‌های شرق استان مازندران به جمعیت‌های استان گلستان شبیه‌تر بودند. مطالعه فیتوشیمیایی نیز بر حسب متابولیت‌های سنجش‌شده، جمعیت‌های سه استان را به‌خوبی از یکدیگر تفکیک نمود. به عنوان یک قانون، متابولیت‌های ثانویه در اعضای یک کlad و گیاهان یک تاکسون یکسان و مشابه هستند، بنابراین محتوای متابولیت‌های گیاهان می‌توانند به عنوان یک نشانگر تاکسونومیکی برای تشخیص گیاهان استفاده شوند

فنلیک اسیدها می‌توانند گزینه خوبی برای تفكیک و دسته‌بندی جمعیت‌های مربوط باشند. جمعیت‌های این پژوهش از نظرنگیزه‌های کلروفیل، کاروتونوئید و آنتوسیانین نیز مقایسه شدند. طی تحقیقات انجام‌شده گروهی از رنگیزه‌های آنتوسیانینی و کاروتونوئیدی از جنس‌های این خانواده بهترسیریده است (Kaszás *et al.*, 2018). در میان ترکیبات شیمیایی گیاهی، لاکتون‌های سسکوئی ترپن، اسیدهای فولیک، گلوکوزیدهای فلاون، کلروفیل‌ها و کاروتونوئیدها توسط چندین نویسنده در کل گیاه یا اندام‌های مختلف مثل غده، برگ یا گل توصیف شده‌اند. Chae, Johansson *et al.*, Oleszek *et al.*, 2019, 2002; Chen *et al.*, 2014; Yuan *et al.*, 2012, 2015; Kaszás, Pan *et al.*, 2009; Showkat *et al.*, 2009 (et al., 2020).

از آنجاکه سالها است خواص آنتی‌اسیدانی رنگیزه‌های گیاهی ثابت شده است، تعیین جمعیتی با حداقل میزان رنگیزه‌های سنجیده شده می‌تواند از جنبه‌های مختلف مورد توجه و استفاده قرار گیرد. جمعیت‌های این پژوهش، از نظر قند داروئی اینولین نیز مورد سنجش و آنالیز قرار گرفتند. آنچاکه از این قند بالرزش در زمینه‌های صنعتی، تجاری و درمانی استفاده می‌شود، تعیین جمعیتی که بیشترین میزان از این قند را به ثبت رسانده است، می‌تواند جالب توجه باشد. علاوه بر اینکه سنجش میزان متابولیت‌ها می‌تواند به شناخت بهترین جمعیت از گیاهان دارویی یک منطقه کمک کند، دسته‌بندی و تفكیک جمعیت‌های مورد مطالعه بر اساس متابولیت‌های سنجیده شده می‌تواند دورنمای روشی از روابط بین جمعیت‌های H. tuberosus که تاکنون گونه دیگری از آن در ایران به ثبت نرسیده است، ارائه دهد. نتیجه این مطالعه کمتوکسونومی، دندروگرامی بود که به خوبی جمعیت‌های این گیاه را بر اساس میزان ترکیبات متابولیتی، از هم دور یا به هم نزدیک کرد. بدیهی است جمعیت‌هایی که در شرایط و زیستگاه‌های یکسانی از نظر اکولوژیکی رشد یافته‌اند، از نظر سطح ترکیبات و مواد موثر، به هم شبیه‌ترند و در انشعابات نزدیک‌تری نسبت به هم قرار می‌گیرند. جمعیت تنکابن ۲ که در مطالعات مورفومتری از سایرین جدا افتاده بود، از نظر متابولیت‌های ثانویه سنجش شده، اختلاف فاحشی با سایرین نداشت و در کنار جمعیت تنکابن ۱ که در رویشگاه مشترکی حضور داشتند قرار گرفت. این دو جمعیت کاملاً در کنار هم رشد

باشند (Sarangowa *et al.*, 2014). در پژوهشی، برای شناسایی و تعیین ترکیبات فنلی در برگ Helianthus tuberosus از کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا، همراه با طیف سنجی توده‌ای (HPLC-MS-MS) استفاده شد و تجزیه کمی نیز با استفاده از HPLC انجام شد و مجموعه‌ای از ترکیبات فنلی کافئین‌دار از جمله اسید کافئولینیک و اسید کافیک از برگ‌های این گیاه استخراج شد (Chen *et al.*, 2014).

سانکانوک و همکاران (Saengkanuk *et al.*, 2011) در پژوهشی میزان قند اینولین را در ۱۱ واریته از گیاه H. tuberosus مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش اسپکتروفوتومتری می‌تواند به عنوان جایگزینی برای آنالیز کروماتوگرافی برای تعیین مقدار اینولین در نمونه‌های گیاهی استفاده شود.

همچنین طی مطالعه‌ای، بر اساس ترکیبات ترپن‌وئیدی و آرماتیک گیاهی، خانواده‌های Myrtaceae, Rutaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Lauraceae, Umbelliferae, Piperaceae, Verbenaceae دسته‌بندی شدند (Bhargava *et al.*, 2013).

طبق پژوهشی دیگر، جنس Latua، بر اساس نوع خاصی از متابولیتها به زیر خانواده Solanoideae منتقل شد (Olmstead *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای دیگر اثبات شد که فلاونوئیدها به عنوان نشانگرهای شیمیوتاکسونومیکی برای خانواده آفتتابگردان در سطح طایفه و زیرطایفه عمل می‌کنند (Emerenciano *et al.*, 2001). براساس نقش موثر متابولیت‌های گیاهی و اهمیت آن در رده‌بندی تاکسون‌ها، در این پژوهش نیز گروهی از متابولیت‌های ثانویه سنجش و اندازه‌گیری شد و از آنجاکه اکثر این متابولیت‌ها جایگاه دقیق تاکسونومیکی گیاهان را آشکار می‌کند، نتایج مطالعه شیمیوتاکسونومی کمک شایانی به بهبود روابط بین جمعیت‌های H. tuberosus در شمال ایران خواهد کرد. طی سنجش‌های انجام‌شده، سطوح بالایی از ترکیبات فنلی از جمعیت‌های این گیاه ثبت شد. لذا مقایسه جمعیت‌ها از نقطه‌نظر فنلیک اسیدها می‌تواند مفید و موثر باشد. از بین فنل، فلاونوئید و فلاونول سنجیده شده، فلاونوئیدها به میزان بیشتری در جمعیت‌های مورد مطالعه حضور داشتند. از آنجاکه برگ‌های این گیاه منبعی غنی از ترکیبات فنلی کافئین‌دار هستند (Chen *et al.*, 2014)، در نتیجه مقایسه جمعیت‌های این گیاه از نظر

این جمعیت آشکار شد. این دسته‌بندی نشان‌دهنده نزدیکی مورفولوژیکی بین جمعیت‌هایی است که در شاخه‌هایی با فاصله کمتر نسبت به یکدیگر قرار گرفتند. از مطالعات مشابه می‌توان به مطالعه Osman در سال ۲۰۱۱ اشاره کرد که چند طایفه از خانواده آفتتابگردان را مورد مطالعه مورفومنتری قرار داد. طایفه‌های مورد مطالعه با روش‌های آماری آنالیز PCA و Cluster به دو گروه اصلی و پنج زیرگروه تقسیم شدند. همچنین طبق پژوهش انجام‌شده توسط خانبیگی و همکاران (Ahmad-Khanbeygi et al., 2011) تعدادی از طایفه‌های خانواده Geramineae را با تاکسونومی عددی (مورفومنتری) مطالعه کردند. برطبق این پژوهش ۱۱ طایفه از این خانواده بر اساس ۳۴ صفت از جمله مورفولوژی میوه و ویژگی‌های گردeshناسی بررسی شدند. روش PCA نشان داد که صفات ذاتی و مورفولوژیکی مثل شکل و رنگ میوه، تزئینات سطح میوه و همچنین صفات گردشی مثل کلاس‌دانه گردش، سایز و تزئینات سطحی باعث جداسازی تاکسون‌ها از یکدیگر شد (Osman et al., 2011). تجربه جهانی در کشت سیب‌زمینی ترشی نشان داده است که این گیاه در مناطقی با آب و هوای معتدل بهترین عملکرد را دارد (Krivoshapkin, 2020., Safarmadi, 2020) ایران می‌تواند اقلیم مناسبی برای رشد و تکثیر آن باشد. در خاک‌های مختلف به استثنای خاک‌های اسیدی، شور و غرقاب عملکرد خوبی دارد. حتی در خاک‌های فقیر از نظر مواد مغذی نیز رشد می‌کند. این گیاه دارای سرعت تولید مثل بالا و مقاومت خوبی در برابر سرما و خشکی است و یخ‌بندان‌های بهاری و سرمای پاییزی را به راحتی تحمل می‌کند (Krivoshapkin, 2020). بنابراین، انتخاب یک واریته مناسب هم برای شرایط خاک و هم برای شرایط آب و هوایی حیاتی است، در غیر این صورت، واریته‌ای که با محیط‌های محلی سازگار نباشد، منجر به تولید با کیفیت پایین و بهره‌وری پایین گیاه می‌شود (Krivoshapkin, 2020., Zhao et al., 2020, 2020)، زیرا موقعیت جغرافیایی منطقه برای کشت این گیاه برای اطمینان از حداکثر عملکرد بسیار مهم است (Viriyasuthee, 2019., Simakin, 2020). آخرین و امیدوارکننده‌ترین کاربرد گیاه به عنوان منبع سوخت زیستی، علوفه و به عنوان یک جایگزین قند برای کسانی است که از دیابت وابسته به انسولین رنج می‌برند، لذا گیاه سیب‌زمینی ترشی یک محصول منحصر به فرد است، یعنی تمام اندام‌های آن از غده-

یافته (با فاصله کمتر از یک متر) و از محیط و شرایط اکولوژیکی یکسانی برخوردار بودند. مطالعه شیمیوتاکسونومی حاضر، مهر تاییدی بر یکسان بودن شرایط اکولوژیکی جمعیت‌های مورد مطالعه، به خصوص جمعیت‌های تنکابن ۱ و ۲ بوده است.

در مطالعه تاکسونومی عددی، وجود اختلاف در خصوصیات مورفولوژیکی برخی جمعیت‌ها را تایید نمود. در این مطالعه، صفات کمی و کیفی هر دو به یک اندازه در تفکیک و دسته‌بندی جمعیت‌ها موثر بوده‌اند. نمودار خوشة-ای حاصل از صفات مورفومنتری، به دو شاخه منشعب شد و با دسته‌بندی جمعیت‌ها، ناحیه مطالعاتی را به دو قسمت شرق و غرب تقسیم کرد. جمعیت‌های واقع در استان گلستان تا شرق و میانه استان مازندران، در یک شاخه فرعی کنار هم قرار گرفتند. همچنین جمعیت‌های واقع در استان گیلان تا غرب و میانه استان مازندران تا حدودی به هم نزدیک شدند. این دسته‌بندی نشان‌دهنده نزدیکی مورفولوژیکی بین جمعیت‌هایی است که در شاخه‌هایی با فاصله کمتر نسبت به یکدیگر قرار گرفتند. به استثنای جمعیت شماره ۲۰ (شفت-گیلان) که در کنار جمعیت‌های گلستان و مازندران (شرق ناحیه مطالعاتی)، قرار گرفت و نیز جمعیت شماره ۶ (محمدآباد- مازندران) که به جمعیت‌های غرب مازندران و استان گیلان نزدیک شد. از جمله دلایل این موارد استثناء می‌توان به مواردی چون شرایط اکولوژیکی رویشگاه مربوط و خطای محقق حین اندازه‌گیری اشاره کرد. از دیگر موارد استثناء در دندروگرام صفات مورفومنتری، جمعیت تنکابن ۲ (کد ۱۲) بود که به تنها‌یی به صورت یک شاخه فرعی از ابتدای نمودار، از شاخه اصلی جدا شد که اختلافات مورفولوژیکی این جمعیت با سایر جمعیت‌ها را تایید می‌کند. با توجه به جمع‌آوری گسترهای که در رویشگاه‌های طبیعی انجام شد و انتظار می‌رفت جمعیت‌ها در صفات ریختی معمول، یکسان و مشابه باشند، این نمونه در منطقه تنکابن، در کنار سایر پایه‌های *H. tuberosus* یافت شد که از لحاظ ریختی و مورفولوژیکی دارای تفاوت‌هایی با سایر نمونه‌ها بود، که مطالعه مورفومنتری نیز این واقعیت را تایید نمود. این نمونه دارای برگ‌های پهن تر و کرک‌های بیشتر روی ساقه و برگ و همچنین دارای گلبرگ‌های پهن تر و کوتاه‌تر از سایر جمعیت‌ها بوده است. لذا با بررسی‌های بیشتر مورفولوژیکی و مطالعات مورفومنتری، اختلاف و تفاوت‌های ریخت‌شناسی

- Basu, S., Zandi, P., Cetzel-Ix, W., Sengupta, R. 2014. Asteraceae: The sunflower family.
- Berzhanova, M. I. 2019. Cultivation of Jerusalem artichoke in the Atyrau region. *Relev. Sci. Res. Curr. World*, 2, 116-121.
- Bhargava, V. V., Saluja, A. K., Dholwani, K. K. 2013. Detection of heavy metal contents and proximate analysis of roots of *Anogeissus latifolia*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(6), 61-65.
- Chae, S. W., Lee, S. H., Kang, S. S., Lee, H. J. 2002. Flavone glucosides from the leaves of *Helianthus tuberosus*. *Natural Product Sciences*, 8(4), 141-143.
- Chekroun MB, Amzile J, Mokhtari A, El HNE, Prevost J , Fontanillas R. 1996. Comparison of fructose production by 37 cultivars of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*). *New Zeal. J Crop Hort.*, 24(1): 115-120.
- Chen, F., Long, X., Liu, Z., Shao, H., Liu, L. 2014. Analysis of phenolic acids of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*) responding to salt-stress by liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *The Scientific World Journal*, 2014.Cieslik E 1998 Mineral content of Jerusalem artichoke new tubers. *Zesk. Nauk. AR Krak.*, 342(10): 23-30.
- da Fonseca Contado, E. W. N., de Rezende Queiroz, E., Rocha, D. A., Fraguas, R. M., Simao, A. A., Botelho, L. N. S., Adneia, D.F.A de Abreu, M. A. B. C. M. P. 2015. Extraction, quantification and degree of polymerization of yacon (*Smallanthus sonchifolia*) fructans. *African Journal of Biotechnology*, 14, (21),1789-1783.
- Deshmukh, S. A. 2011. Morphometrics of the genus *Cassia* L. from Kolhapur district. *The Bioscan*, 6(3), 459-462.
- Emerenciano, V. D. P., Militão, J. S. L. T., Campos, C. C., Romoff, P., Kaplan, M. A. C., Zambon, M., Brant, A. J. 2001. Flavonoids as chemotaxonomic markers for Asteraceae. *Biochemical systematics and ecology*, 29(9), 947-957.
- Eruygur, N., Koçyiğit, U. M., Taslimi, P., Ataş, M. E. H. M. E. T., Tekin, M., Gülcin, İ. 2019. Screening the in vitro antioxidant, antimicrobial, anticholinesterase, antidiabetic activities of endemic *Achillea cucullata* (Asteraceae) ethanol extract. *South African journal of botany*, 120, 141-145.

های بزرگ، ساقه، برگ، گل، و ریشه می‌تواند به طور کامل مورد استقاده قرار گیرد Ruban, 2019., Berzhanova, (2019). از آنجاکه مطالعه مورفومتری روی جمعیت‌های *H. tuberosus* برای اولین بار صورت پذیرفت و با توجه به اینکه گونه دیگری از *Helianthus* در ایران به ثبت نرسیده است، این مطالعه می‌تواند مبنایی برای سایر مطالعات مورفومتری و ریخت‌شناسی روی این گیاه باشد و ابهامات بیشتری را از جمعیت‌های آن در سطح کشور برطرف سازد و بهترین جمعیت از نظر ترکیبات دارویی و مواد موثر را مشخص نماید تا بتواند از این طریق نقش بهسزایی در حفظ و گسترش پوشش گیاهی زیستگاه‌های کشور ایفا کند.

## منابع

- مظفریان، و، قهرمانی نژاد، ف، نریمیسا، س، جعفری، ع، کاظم پور اصالو، ش، لطفی، ا، اسدی، م. ۱۳۹۷. فلور ایران، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مرتع کشور، ۱۰۲۶ ص.
- میلانی، ا، پورآذرنگ، ه، وطن خواه، ش، وکیلیان، ح. ۱۳۸۹. بهینه سازی استخراج اینولین از غده سیب زمینی ترشی به کمک روش سطح پاسخ (RSM). نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۱۸۳ (۶): ۱۷۶.

- Ahmad, K. Z., Sheidai, M., Attar, F. 2011. Morphometry and palynological study of the genus *Cousinia* sect. *Cousinia* (Asteraceae) in Iran.
- Akkol, E. K., Göger, F., Koşar, M., Başer, K. H. C. 2008. Phenolic composition and biological activities of *Salvia halophila* and *Salvia virgata* from Turkey. *Food Chemistry*, 108(3), 942-949.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24(1): 1-15.
- Atal, C. K., & Kapur, B. M. 1982. Cultivation and utilization of aromatic plants.
- Ainsworth, E.A., Gillespie, K.M., 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nat. Protoc.* 2, 875-877
- Bailey, L. H. 1929-30. The Standard Encyclopaedia of Horticulture edn. 1963 Vol. III (P-Z). The MacMillan Co., N. York.

- plant for Yakutia. *Acad. Bull. Yakut State Agric. Acad.*, 9, 29-36. Legendre, P., & Legendre, L. 1998. 1998. Numerical ecology. Second English edition. Elsevier, Amsterdam.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148: 350-382.
- Lincoln, D.E., Murray, M.J. Lawrence, B.M. 1986. Chemical composition and genetic basis for the isopinocamphon chemotype of *Mentha citrate* hybrids. *Phytochemistry*. 25(8):1857.
- Liu, K., Altaf-Ul-Amin, M., Abdullah, A. A., Morita, A. H., Shiraishi, M., & Kanaya, S. 2015, August. A novel plant classification method based on similarities in chemical structures of metabolite contents obtained from the KNAPSAcK database. In *II International Symposium on Pyrethrum 1169* (pp. 139-150).
- Majewski, M., Lis, B., Juśkiewicz, J., Ognik, K., Borkowska-Sztacháńska, M., Jedrejek, D., Stochmal, A., Olas, B. Phenolic Fractions from Dandelion Leaves and Petals as Modulators of the Antioxidant Status and Lipid Profile in an In Vivo Study. *Antioxidants* 2020, 9, 131.
- Manokhina, A. A., Dorokhov, A. S., Kobozeva, T. P., Fomina, T. N., Starovoitova, O. A. 2022. Varietal characteristics of jerusalem artichoke as a high nutritional value crop for herbivorous animal husbandry. *Applied Sciences*, 12(9), 4507.
- Masukasu, H., Karin, O. and Kyoto, H. 2003. Enhancement of anthocyanin biosynthesis by sugar in radish (*Raphanus sativus*) hypocotyls. *Plant Science*. 164(2): 259-265.
- Miliauskas, G., Venskutonis, P. R., Van Beek, T. A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food chemistry*, 85(2), 231-237.
- Mulumba, J. W., & Kakudidi, E. 2010. Numerical taxonomic study of *Acacia senegal* (Fabaceae) in the cattle corridor of Uganda. *South African Journal of Botany*, 76(2), 272-278.
- Najafian, S., Moradi, M. 2017. Polyphenolic compounds (HPLC analysis) and Antioxidant Activity of *Stevia Rebaudiana* (Asteraceae) by FRAP and DPPH Assay in Flora of North America, Vol. 21 Page 147, 159, 160, 161, 162.
- Funk VA, Bayer RJ, Keeley S, Chan R, Watson L, Gemeinholzer B, Schilling E, Panrelo JL, Baldwin BG, Garcia-Jacas N, et al. 2005. Everywhere but Antarctica: using a supertree to understand the diversity and distribution of the Compositae. In *Biol Skr* Edited by Friis I, Balslev H. 55:343-373.
- Heywood, V., Casas, A., Ford-Lloyd, B., Kell, S., & Maxted, N. 2007. Conservation and sustainable use of crop wild relatives. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121(3), 245-255.
- JERMYN, M.A. A new method for the determination of ketoheoses in presence of aldohexoses. *Nature*, v.177, p.38-39, 1956.
- Johansson, E., Prade, T., Angelidaki, I., Svensson, S. E., Newson, W. R., Gunnarsson, I. B., Persson Hovmalm, H. 2015. Economically viable components from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a biorefinery concept. *International journal of molecular sciences*, 16(4), 8997-9016.
- Jones. B.S. and Luchsinger. A.E. 1986. Plant Systematics. McGraw-Hill, Inc., USA.
- Kang, K. B., Ernst, M., van der Hooft, J. J., da Silva, R. R., Park, J., Medema, M. H., ... & Dorrestein, P. C. 2019. Comprehensive mass spectrometry-guided phenotyping of plant specialized metabolites reveals metabolic diversity in the cosmopolitan plant family Rhamnaceae. *The Plant Journal*, 98(6), 1134-1144.
- Kaszás, L., Alshaal, T., El-Ramady, H., Kovács, Z., Koroknai, J., Elhawat, N., Domokos-Szabolcsy, É. 2020. Identification of bioactive phytochemicals in leaf protein concentrate of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Plants*, 9(7), 889.
- Kaszás, L., Kovács, Z., Nagy, É., Elhawat, N., Abdalla, N., & Domokos-Szabolcsy, É. 2018. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a potential chlorophyll source for humans and animals nutrition. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 2(2018), 1-9.
- Koundinya, A. V. V., Asha Devi, R. K., Kumar, P. P., Pandit, M. K. 2019. A review on underexploited nutrient rich perennial vegetables.
- Krivoshapkin, K. K. 2020. Jerusalem artichoke—A promising forage and food

- Tajikistan. *Proc. Orenbg. State Agric. Univ*, 4, 82-85.
- Sarangowa, O., Kanazawa, T., Nishizawa, M., Myoda, T., Bai, C., & Yamagishi, T. 2014. Flavonol glycosides in the petal of Rosa species as chemotaxonomic markers. *Phytochemistry*, 107, 61-68.
- Showkat, M. M., Falck-Ytter, A. B., Strætkvern, K. O. 2019. Phenolic acids in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Plant organ dependent antioxidant activity and optimized extraction from leaves. *Molecules*, 24(18), 3296.
- Simakin, A.V., Ivanyuk, V.V., Gudkov, S.V., Dorokhov, A.S. Photoconversion fluoropolymer films for the cultivation of agriculturalplants under conditions of insufficient insolation. *Appl. Sci.* 2020, 10, 8025. [CrossRef]
- Slimestad, R., Seljaasen, R., Meijer, K., Skar, S.L., 2010. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. *J. Sci. Food Agric.* 90,956–964.
- Stauffer, M. D., Chubey, B. B., Dorrell, D. G. 1975. Jerusalem artichoke--formulating the potential of a new crop. Canada agriculture.
- Starovoytov, V., Starovoytova, O., Aldoshin, N., Manohina, A. 2017. Jerusalem artichoke as a means of fields conservation. *Acta technologica agriculturae*, 20(1), 7-10.
- Sneath, P.H.A. Sokal, R.R. 1973. Numerical Taxonomy, Freeman and Company, San Francisco, USA,573 pp.
- Temkov, M., Petkova, N., Deney, P., Krastanov, A. 2015. Characterization of inulin from *Helianthus tuberosus* L. obtained by different extraction methods- Comparative study.
- Viriyasuthee, W., Jogloy, S., Saksirirat, W., Saepaisan, S., Gleason, M. L., Chen, R. S. 2019. Biological control of Alternaria leaf spot caused by Alternaria spp. in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) under two fertilization regimes. *Plants*, 8(11), 463.
- Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole.extra vacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiol.* 64(1): 88-93.
- Wein, K. 1963. Die Einführungsgeschichte von *Helianthus tuberosus* L. *Die Kulturpflanze*, 11, 41-91.
- Yuan, X., Gao, M., Xiao, H., Tan, C., Du, Y. 2012. Free radical greenhouse and free space condition. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3, 49-55.
- Nikolić, M., Stevović, S. 2015. Family Asteraceae as a sustainable planning tool in phytoremediation and its relevance in urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 782-789.
- Oleszek, M., Kowalska, I., Oleszek, W. 2019. Phytochemicals in bioenergy crops. *Phytochemistry Reviews*, 18, 893-927.
- Olmstead, R. G., Bohs, L., Migid, H. A., Santiago-Valentin, E., Garcia, V. F., & Collier, S. M. 2008. A molecular phylogeny of the Solanaceae. *Taxon*, 57(4), 1159-1181.
- Osman, A. K. 2011. Numerical taxonomic study of some tribes of Compositae (Subfamily Asteroideae) From Egypt. *Pak J Bot*, 43(1), 171-180.
- Osman, A., Zaki, M., Hamed, S., Hussein, N. 2011. Numerical taxonomic study of some Tribes of Gramineae from Egypt. *American Journal of Plant Sciences*, 2(01), 1.
- Pan, L., Sinden, M. R., Kennedy, A. H., Chai, H., Watson, L. E., Graham, T. L., Kinghorn, A. D. 2009. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke). *Phytochemistry Letters*, 2(1), 15-18.
- Rahman, S. A., Rahman, M. F., & Sunderland, T. 2012. Causes and consequences of shifting cultivation and its alternative in the hill tracts of eastern Bangladesh. *Agroforestry Systems*, 84, 141-155.
- Rasool, R., Ganai, B. A., Akbar, S., Kamili, A. N., & Masood, A. 2010. Phytochemical screening of *Prunella vulgaris* L.-an important medicinal plant of Kashmir. *Pak. J. Pharm. Sci.*, 23(4), 399-402.
- Ruban, G. A. 2019. Jerusalem artichoke as perennial crop in the North (Komi Republic). *Bull. Bot. Gard. Saratov State Univ*, 4, 212-224.
- Saengkanuk, A., Nuchadomrong, S., Jogloy, S., Patanothai, A., Srijaranai, S. 2011. A simplified spectrophotometric method for the determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *European Food Research and Technology*, 233(4), 609-616.
- Safarmadi, M. 2020. Productive potential of Jerusalem artichoke (*Heliautus tuberosus* L.)

- Zhao, M., Zhong, Q., Tian, M., Han, R., Ren, Y. 2020. Comparative transcriptome analysis reveals differentially expressed genes associated with the development of Jerusalem artichoke tuber (*Helianthus tuberosus* L.). *Industrial crops and products*, 151, 112455.
- Zorić, M., Terzić, S., Sikora, V., Brdar-Jokanović, M., Vassilev, D. 2017. Effect of environmental variables on performance of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars in a long-term trial: A statistical approach. *Euphytica*, 213, 1-14.
- scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves. *Food Chemistry*, 133(1), 10-14.
- Wink, M. 2003. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, 64(1), 3-19
- Zelenkov, V. N. 2017. Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.). Report 1. Biological aspects of plant development in nature and in Russia (literature review). *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*, 2, 71-78.

## Biosystematics Study on *Helianthus tuberosus* L. Populations in North of Iran

Nastran Ala<sup>1</sup>, Arman Mahmoudi Otaghvvari \*<sup>2</sup>, Ehsan Nazifi<sup>3</sup>, Piroz Azizi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student in Plant Systematics and Ecology, Department of Botany, University of Mazandaran, Babolsar

<sup>2</sup>Associate Prof, Department of Botany, University of Mazandaran, Babolsar

<sup>3</sup>Assistant Prof, Department of Botany, University of Mazandaran, Babolsar

<sup>4</sup>Prof, Department of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht

Received: 2023/04/18; Accepted: 2023/12/25

### Abstract

Jerusalem artichoke with the scientific name *Helianthus tuberosus* has been imported to Iran for half a century and grows natively. Its populations were collected from Guilan, Mazandaran and Golestan provinces for numerical taxonomy and chemotaxonomy. To study numerical taxonomy, vegetative and reproductive organs were studied and 62 quantitative and qualitative traits were measured. In order to group the populations, the cluster analysis method was used. In the chemotaxonomy study, secondary metabolites were measured. The data were analyzed using statistical analysis and Duncan's test, and the difference between the populations was investigated. Clustering analysis of quantitative and qualitative traits showed significant difference between the studied traits. In the morphometric study, the first principal component with 24.7% of the total variance had the largest amount of variance, and traits such as stem diameter, leaf length and width, and sepals played the most important role in separating the populations. In the chemotaxonomy study, the first main component with 40.97% included traits such as fructose, inulin, and phenolic compounds, which were the most effective traits in separating populations. The resulting dendrogram distinguished the populations well, and the populations of each province were placed in branches close to each other, which indicates the percentage of similarity in the investigated traits. Since this plant is a unique product to meet human industrial and medicinal needs, determining the best population for its cultivation and propagation can be effective.

**Keywords:** *Helianthus tuberosus*, Morphometry, Phytochemistry, Secondary metabolite, Spectrophotometry

\*Corresponding author: Botany1347@gmail.com