

بررسی ترکیبات فیتوشیمیایی و ظرفیت آنتی اکسیدانی 11 رقم و ژنوتیپ میوه فندق در منطقه اشکورات رودسر

شبنم یعقوبی فر¹، ولی ربیعی^{2*}، فرهنگ رضوی³، داود جوادی⁴، اکبر حسنی⁵

1- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

2- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

3- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

4- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان

5- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: 98/11/19 تاریخ پذیرش: 99/03/17)

چکیده

فندق به عنوان یکی از مهمترین میوه‌های خشکباری حاوی مجموعه با ارزشی از آنتی اکسیدان‌ها و مواد مغذی است. کیفیت مغز فندق به شدت تحت تأثیر ترکیبات آن قرار دارد. ظرفیت آنتی اکسیدانی و ترکیبات بیوشیمیایی مغز فندق بیشتر به رقم، شرایط اقلیمی و اثر متقابل شرایط آب و هوایی و ژنوتیپ بستگی دارد. مطالعه حاضر، به منظور بررسی خصوصیات کیفی از جمله میزان ویتامین ث، فعالیت آنتی اکسیدانی، فنل کل، فلاونوئید کل و عناصر معدنی در 11 رقم و ژنوتیپ شامل هفت رقم وارداتی به نام‌های روند دوپیمونت، نگرت، سگورب، سیوری، مورفینسکی، فرتیل دکوتارد، سوچی، و چهار ژنوتیپ بومی به نام‌های اشکور 1، اشکور 2، اشکور 3 و اشکور 4 در منطقه اشکورات رودسر در سال 1396 انجام شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد در کلیه صفات مورد مطالعه در بین ارقام و ژنوتیپ‌های فندق اختلاف معنی داری ($P \leq 0.01$) وجود دارد که این امر نشان دهنده تنوع ژنتیکی بالا در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. تجزیه همبستگی صفات نشان دهنده وجود ارتباط مثبت و منفی معنی داری در برخی از صفات مهم بود. با توجه به دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش "وارد"، در فاصله اقلیدسی 27 ارقام و ژنوتیپ‌های فندق در چهار خوشه اصلی دسته بندی شدند.

کلیدواژگان: فندق، عناصر معدنی، خواص آنتی اکسیدانی، تجزیه خوشه‌ای

* مسئول مکاتبات: rabiei@znu.ac.ir

1- مقدمه

فندق به دلیل دارا بودن ترکیبات آنتی اکسیدانی متنوع به بدن انسان درخشی سازی اثرات نامطلوب رادیکال‌های آزاد کمک موثری می‌کند. رادیکال‌های آزاد اتم‌های فعال هستند که بر حسب الکترون‌هایی که دارند باردار هستند. رادیکال‌ها در همه‌ی ارگانیسم‌های زنده در طی واکنش‌های اکسیداسیون که به عنوان بخشی از متابولیسم طبیعی رخ می‌دهد تشکیل می‌شوند [1]. رادیکال‌های آزاد حاوی اکسیژن که تحت عنوان گونه‌های فعال اکسیژن¹ نامیده می‌شوند (ROS) مهمترین رادیکال‌های آزاد بیولوژیک هستند [2]. شرایط نامطلوب مانند تنش‌های محیطی نظیر زخم، سرما، خشکی، تابش UV و حمله پاتوژن‌ها سبب افزایش بیش از حد غلظت رادیکال‌های آزاد و منجر به تنش اکسیداتیو می‌شود [3]. ویژگی عمده تنش اکسیداتیو تولید زیاد گونه‌های اکسیژن فعال در مقادیری فراتر از توان دفاعی سیستم آنتی اکسیدان سلول است [4]. بدن انسان می‌تواند آن‌ها را خنثی کند اما سیستم دفاعی بدن ما بطور کامل کارآمد نیست، از این رو با گذشت زمان تجمع رادیکال‌های آزاد موجب آسیب سلولی و پیری بدن می‌شود همچنین، به عنوان عامل ایجاد انواع عارضه‌های پاتولوژیک مانند آرتروز و سرطان‌زایی مطرح شده است [5]. مکانیسم‌هایی که معمولاً برای غیر فعال سازی ROS استفاده می‌شود از طریق استفاده از آنتی اکسیدان‌هاست [6]. در علم مواد غذایی آنتی اکسیدان‌ها در عمل جلوگیری از اکسیداسیون چربی در غذا و کاهش اثرات نامطلوب رادیکال‌های آزاد بر عملکرد فیزیولوژی طبیعی انسان بسیار مهم هستند [7]. آنتی اکسیدان‌های بدست آمده از طریق مصنوعی مانند BHA (بوتیل هیدروکسی آنیزول) و BHT (بوتیل هیدروکسی تولین) بطور گسترده در صنایع غذایی استفاده و در رژیم غذایی انسان قرار گرفته‌اند. با این حال در سال‌های اخیر استفاده از آنتی اکسیدان‌های طبیعی بدلیل نگرانی‌های مربوط به ایمنی ترکیبات مصنوعی افزایش پیدا کرده است [8]. انجمن قلب آمریکا مصرف مکمل‌های آنتی اکسیدانی را به افراد توصیه نمی‌کند، تا اطلاعات بیشتری در این زمینه بدست آید. در عوض پیشنهاد می‌کنند روزانه تنوعی از غذاها را از همه گروه‌های غذایی اصلی مصرف کنند [9 و 10]. فندق حاوی مجموعه با ارزشی از آنتی اکسیدان‌های سینرژیک از جمله توکوفرول‌ها (بطور عمده: آلفا توکوفرول)،

فنل‌ها، فلاونوئیدها، ویتامین‌ها، فیتواستروژن، سلنیوم و اسکوالن است که با همکاری متقابل یکدیگر می‌توانند به بدن ما در جلوگیری از تهدیدات رادیکال‌های آزاد کمک بالقوه‌ای کنند [11]. در عین حال فندق‌ها منبع فراوانی از مواد مغذی از جمله آهن، پتاسیم، فسفر، روی، کلسیم، منیزیم، مس، منگنز، سلنیوم و بتاسیتوسترول می‌باشند [11]. علاوه بر مغز فندق، پوشش سبز و برگ آن نیز دارای خواص آنتی اکسیدانی می‌باشد [2 و 12]. مواد فیتوشیمیایی که فعالیت آنتی اکسیدانی دارند شامل ترکیبات فنولی (فلاونوئیدها)، ترکیبات نیتروژن‌دار (مشتقات کلروفیل)، توکوفرول‌ها، کارتنوئیدها و اسکوربیک اسید هستند [13]. فراوان‌ترین آنتی اکسیدان‌های موجود در فندق به عنوان ترکیبات فنولیک شناخته می‌شوند. اشاره شده است که فنول‌های اصلی فندق تقریباً بطور انحصاری در پریسپرم دانه قرار دارد [14]. ترکیبات فنولی موجود در مغز فندق، دانه‌ها را از اکسیداسیون در طول انبارمانی محافظت می‌کند و بواسطه داشتن مواد با خاصیت گسی بر طعم و مزه تاثیر دارند. همچنین، باعث افزایش تلخی در مغزهای تازه می‌شود و این حالت در مغز، با درجات مختلف برشته شدن متفاوت است [6]. ترکیبات فنولی مانند فلاونوئیدها، لیگنین‌ها و تانن‌ها از متابولیت‌های ثانویه هستند که از مسیر فنول پروپانوییدی تولید می‌شوند و نقش‌های متنوعی در گیاه بر عهده دارند. در میان گونه‌های آجیلی، فندق میزان متوسطی از فنول‌های کل را نشان می‌دهد، کمتر از آن‌ها گردو و پکان و بیشتر از آن کاج و ماکادامیا می‌باشند [15]. فلاونوئیدها گروهی از پلی فنول‌ها هستند که با یک عملکرد وسیع به فعالیت آنتی اکسیدانی فندق کمک می‌کنند. این ترکیبات فنولیک بطور وسیعی در فندق یافت می‌شوند و در برخی موارد متوسط 0/88 درصد وزن خشک آن‌ها را تشکیل می‌دهند. ثابت شده است که فلاونوئید-ها در شلاته کردن گونه‌های اکسیژن فعال نقش اصلی را دارند و دارای یک اثر قوی حفاظت سلولی هستند [16]. بسیاری از ترکیبات فنولی که دارای خواص آنتی اکسیدانی هستند مورد بررسی قرار گرفته و برای حفاظت از آسیب‌های متعدد در ارتباط با آسیب اکسیداتیو پیشنهاد شده‌اند. گزارش شده است که فنول‌های گیاهی اثرات ضد سرطانی، ضد چربی خون، ضد زخم معده، ضد میکروبی و اثرات مسکنی دارند [2 و 11]. در تحقیقی که توسط کوکسال و همکاران در سال 2006 در ترکیه

منظور بررسی ترکیبات فیتوشیمیایی و آنتی اکسیدانی ارقام روند دوپیمونت⁷، نگرت⁸، سگورب⁹، سیوری¹⁰، مورفینسکی¹¹ و فرتیل دکوتارد¹² و ژنوتیپهای سوچی¹³، اشکور¹، اشکور²، اشکور³ و اشکور⁴ صورت گرفته است.

2- مواد و روش ها

این پژوهش در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار روی 11 رقم و ژنوتیپ فندق در ایستگاه تحقیقاتی فندق اشکورات رودسر در شهریور سال 1396 اجرا شد. این ایستگاه در مختصات طول جغرافیایی $94^{\circ} 48' 36''$ و عرض جغرافیایی $29^{\circ} 52' 50''$ شهرستان رودسر واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا 22 متر با متوسط بارندگی 1200 میلی متر و متوسط دمای روزانه $15/8$ درجه سانتی گراد می باشد. بافت خاک منطقه شنی با $pH = 6/8$ است که برای زهکشی در ماههای بارندگی در دو طرف قطعه کانالهای زهکشی حفر شده اند. درختان انتخاب شده 25 ساله بوده که همگی به صورت 4-5 تنه نگهداری می شوند که همه ساله حذف پاجوشها و شاخههای خشکیده انجام می شود. ارقام مورد بررسی شامل: روند دوپیمونت، فرتیل دکوتارد، سگورب، نگرت، سیوری، مورفینسکی و ژنوتیپهای سوچی، اشکور¹، اشکور²، اشکور³ و اشکور⁴ بودند. میوهها در مرحله رسیدگی (زمانی که 30 درصد رنگ آنها به قهوه ای تغییر پیدا کند) به صورت دستی و بطور تصادفی از تمامی جهات درخت میوههای سالم، بدون آفت و بیماری وبا اندازه و شکل یکنواخت برداشت شدند (برای هر رقم 120 میوه که از سه درخت و از هر درخت 40 میوه انتخاب شد). سپس میوهها به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انتقال داده شدند. در ابتدا پوشش سبز میوهها جدا و تمیز شدند. پس از جدا کردن پوست سبز، برای اندازه گیری عناصر غذایی میوهها به آون با دمای 45-50 درجه سانتی گراد منتقل شدند [19]. خشک شدن تا مرحله ای ادامه پیدا کرد که دیگر کاهش وزنی در میوهها دیده نشد، اندازه گیری ویتامین ث بلافاصله و برای اندازه گیری فعالیت آنتی-

انجام شد ترکیبات مغز 17 رقم فندق شامل: کارگالاک¹، کوس²، مینجان³، کاکیلداک⁴، فوسه⁵، اینجکارا⁶، کالینکارا⁷، کارجاوا⁸، آجی⁹، یووارلاک¹⁰، بادام¹¹، پالاز¹¹، سیوری¹²، تومبول¹³، اوزون موسی¹⁴، یاسی بادام¹⁵، گان¹⁶ و گره فیندیک¹⁷ مورد ارزیابی قرار گرفت. متوسط مقدار نیاسین، ویتامین ب¹، ویتامین ب² و ویتامین ب⁶، اسکوربیک اسید، فولیک اسید، رتینول و محتوای توکوفرول کل مغزهای فندق به ترتیب 1/45، 0/08، 0/05، 0/5، 2/45، 0/043، 3/25 و 26/9 میلی گرم در 100 گرم بودند. مواد معدنی پتاسیم، منگنز، منیزیم، کلسیم، آهن، روی، سدیم و مس نیز به ترتیب با مقادیر 863، 173، 186، 5/6، 4/2، 2/9، 2/6 و 2/3 میلی گرم در 100 گرم در ارقام فندق اندازه گیری شد [17]. در آینده با گسترش بازار جهانی و اهمیت کیفیت بالای محصولات، رقابت بین تولیدکنندگان افزایش پیدا خواهد کرد. در حال حاضر، حدود 90 درصد ارقام فندق برای فرآوری و بدست آوردن آجیلهایی با کیفیت بالا و یکنواخت انتخاب می شوند این در حالی است که کیفیت بالای فندق به شدت تحت تاثیر ترکیبات مغز می باشد که در ژنوتیپهای مختلف متفاوت و بستگی به شرایط محیطی و اقلیمی دارد [17]. از طرفی بدلیل افزایش و شیوع بیماریهای خطرناکی مانند سرطان، اهمیت مدیریت مواد غذایی غنی شده با بیواکتیوها و جا انداختن آنها در رژیم غذایی معمول، حفظ فعالیت و زیست دسترس پذیری آنها از مهم ترین و چالش برانگیزترین مباحث پژوهشی در راستای تغذیه صحیح و سالم می باشد [18]. تحقیقات در مورد ترکیبات مغز فندق به طور عمده روی محتوای روغن و اسیدهای چرب انجام گرفته است. در حالی که میزان و مشخصات ترکیبات ثانویه مانند فنولها، فلاونوئیدها و عناصر غذایی بطور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا پژوهش حاضر به

1. Kargalak
2. Kus
3. Mincan
4. Cakildac
5. Fosu
6. Incekara
7. Kalinkara
8. Carcava
9. Aci
10. Yuvarlakbadem
11. Palaz
12. Sivri
13. Tombul
14. Uzunmusa
15. Yassibadem
16. Kan
17. Karafindik

1. Ronde dupimont
2. Negreta
3. Segorbe
4. Morfineski
5. Fertile decotard
6. Sochi

اکسیدانی، فنول کل و فلاونوئید، نمونه‌هایی از مغز ارقام به فریزر 20- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند.

3- صفات مورد بررسی

3-1- ویتامین ث

برای اندازه‌گیری ویتامین ث ابتدا متافسفریک 1% تهیه شد (ده گرم در یک لیتر). سپس دو گرم از مغز فندق وزن و با میکسر پودر و با 12 سی سی از محلول متافسفریک به خوبی ساییده شد و در 600 دور به مدت 15 دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس محلول رویی جمع آوری گردید. 50 میلی‌گرم از پودر دی کلروایندوفنل در 200 سی سی آب گرم حل شد و به آن 42 میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم اضافه گردید. این ماده رنگی داخل فویل و در یخچال به مدت کوتاه نگهداری گردید. سپس در هر لوله آزمایش دو میلی‌لیتر از محلول رنگی اضافه شد. سپس 100 میکرولیتر از عصاره استخراج شده به هر نمونه اضافه شد. جذب محلول حاصل در طول موج 520 نانومتر خوانده شد. غلظت آسکوربیک اسید با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از غلظت‌های مختلف آسکوربیک اسید در حضور دی کلروایندوفنل محاسبه شد [20].

3-2- فنول کل، فلاونوئید کل و

ظرفیت آنتی اکسیدانی

برای اندازه‌گیری فنول و فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی، مقدار یک گرم از بافت تازه میوه وزن و توسط میکسر پودر شد و سپس در هاون با اضافه کردن متانول 80 درصد کوبیده و به حجم نهایی هشت میلی لیتر رسانده و در داخل فالتکون ریخته شد و در دور 10000 به مدت 10 دقیقه سانتریفیوژ و سپس به داخل میکروتیوب منتقل شد و برای اندازه‌گیری میزان فنول و فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی مورد استفاده قرار گرفت [21 و 22]. میزان فنول کل (TPC)¹ با استفاده از معرف فولین سیوکالتو [22] اندازه‌گیری و میزان جذب نمونه و استاندارد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Specorp 250 Jena-History) ساخت کشور آلمان در طول موج 720 نانومتر قرائت گردید و در نهایت میزان فنول کل نمونه بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک بر 100 گرم وزن تر میوه (mg

(GAE/100gr FW) بیان شد. محتوای فلاونوئید کل (TFC)² عصاره‌ها با روش ارائه شده توسط کاجو و همکاران (2006) اندازه‌گیری و جذب محلول در طول موج 507 نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل (Specorp 250 Jena-History) خوانده شد و مقدار آن بر حسب میلی‌گرم کوئرستین بر 100 گرم وزن تر میوه (mgQ/100gr FW) بیان گردید [21]. ظرفیت آنتی اکسیدانی بر اساس روش DPPH(RSA) اندازه‌گیری و جذب آن در طول موج 517 نانومتر قرائت شد [23] و با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$\%RSA = 100 \frac{Ac - As}{Ac}$$

As: جذب نمونه حاوی عصاره

Ac: جذب کنترل

3-3- عناصر غذایی

برای تهیه عصاره جهت اندازه‌گیری عناصر غذایی از دو روش هضم به روش مخلوط اسید سولفوریک و اسید سالیسیلیک (هضم تر) و هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با HCl (هضم خشک) استفاده شد.

3-3-1- هضم به روش مخلوط اسید سولفوریک و

اسید سالیسیلیک

عصاره تهیه شده در این روش جهت اندازه‌گیری عنصر غذایی نیتروژن مغز فندق استفاده شد. به این صورت که ابتدا برای تهیه مخلوط اسیدها: 18 میلی‌لیتر آب مقطر داخل ارلن 250 ریخته و مقدار 100 میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ (96%) را به دفعات و در حجم‌های کم به آن اضافه سپس شش گرم اسید سالیسیلیک را به محلول اضافه و با کمک مگنت حل شد. 0/3 گرم از نمونه فندق آسیاب شده وزن شده داخل بالن هضم 50 میلی‌لیتری ریخته و به آن 2/5 میلی‌لیتر از مخلوط اسیدها اضافه شد. سپس نمونه روی هیتری که دمای آن قبلاً به 120 درجه سانتی‌گراد رسیده بود به مدت یک ساعت قرار داده شد. نمونه به کمک گیره از روی هیتری پایین آورده و پس از خنک شدن به هر نمونه حدود 0/5 میلی‌لیتر آب اکسیژنه اضافه شد. این عمل تا جایی که نمونه بی‌رنگ شود ادامه داده شد و پس از خنک شدن به یک بالن حجم سنجی 50 منتقل و با آب مقطر به حجم رسانده و از کاغذ صافی عبور داده شد [24].

2. Total flavonoid content

1. Total phenol content

3-3-2- هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با**HCl**

عصاره تهیه شده در این روش جهت اندازه‌گیری سایر عناصر غذایی از جمله: کلسیم، منیزیم، منگنز، پتاسیم، فسفر، سلنیوم، روی، مس، آهن، بر و سیلیسیم در اجزاء گیاه به کار می‌رود. یک گرم نمونه مغز فندق خشک و آسیاب شده را با دقت 0/001 گرم توزین و در کروزه چینی ریخته و در کوره به مدت چهار الی پنج ساعت با حرارت معمولی (550 درجه سانتی گراد) قرار داده شد. سپس کوره خاموش شده و پس از خنک شدن کروزه‌ها از کوره خارج شدند. خاکسترها را با چند قطره آب مقطر خیس کرده و پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو مولار به آن اضافه شد. پس از انجام فعل و انفعالات کروزه‌ها روی حمام بن ماری با دمای 80 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. بعد از یک ساعت محتویات کروزه به وسیله یک قیف در یک بالن 50 ریخته و به حجم رسانده شد. محتویات بالن را از کاغذ صافی عبور داده و عصاره بدست آمده جهت قرائت عناصر آماده شد [24].

بعد از عصاره‌گیری، عنصر نیتروژن به روش کجلدال، فسفر به روش کالریتری توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت انگلستان، پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر (مدل Jenway PFP7 ساخت انگلستان)، بور به روش رنگ‌سنجی و مبتنی بر روش آزومتین H توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی، مس، سلنیوم و سیلیسیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل CTA-2000 A. AS) اندازه‌گیری شدند و میزان عناصر مغز فندق بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بیان شد [25].

3-3-3- تجزیه آماری

تجزیه واریانس داده‌ها پس از کنترل مفروضات (شامل نرمال بودن خطای آزمایشی) با استفاده از نرم افزار آماری SPSS (Ver, 23) انجام شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. تجزیه خوشه‌ای به روش "وارد" و ضرایب همبستگی بین صفات با استفاده از ضریب پیرسون و با کمک نرم افزار SPSS تعیین شد.

4- نتایج و بحث**4-1- ویتامین ث**

مقایسه میانگین‌ها (جدول 1) نشان داد که بیشترین میزان ویتامین ث مربوط به رقم روند دوپیمونت (77/63 میلی‌گرم بر 100 گرم میوه) و کمترین میزان ویتامین ث مربوط به ژنوتیپ سوچی (43/26 میلی‌گرم بر 100 گرم میوه) بود. آلاسالوار و همکاران [26] مقدار ویتامین ث رقم تومبول را (5/54 میلی-گرم بر 100 گرم) و کوکسال و همکاران [17] میزان ویتامین ث 17 رقم ترکیه‌ای را در حدود 1/38 تا 2/63 میلی‌گرم بر 100 گرم گزارش کردند. در مطالعه آن‌ها میزان ویتامین ث رقم سیوری در حدود 2/63 میلی‌گرم بر 100 گرم بود. در صورتی که در این تحقیق مقدار بیشتری برای همین رقم (51/44 میلی-گرم بر 100 گرم وزن تر) اندازه‌گیری شد. این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل اثرات منشأ جغرافیایی و شرایط اقلیمی (نور، دما و رطوبت نسبی) و ترکیبات خاک باشد. آکارت و همکاران [27] اثرات منشأ جغرافیایی و تنوع در ترکیبات ویتامین‌ها و مواد معدنی موجود در 11 رقم فندق ترکیه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان کردند که شرایط رشد و میزان رسیدگی محصولات هنگام برداشت بر محتوای ویتامین ث موجود در محصولات تأثیر می‌گذارد که در نتیجه بر استحکام و کیفیت تولید تأثیر گذار خواهد بود.

4-2- میزان آنتی‌اکسیدان کل

مقایسه میانگین‌ها (جدول 1) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ارقام از لحاظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در رقم نگرت (91/76%) و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ‌های اشکور 2 (21/72%) و اشکور 4 (21/83%) بود. آلتن و همکاران [3] فعالیت آنتی‌اکسیدانی 15 رقم فندق ترکیه‌ای را در حدود (51 تا 86%) گزارش کردند. در مطالعه آن‌ها فعالیت آنتی‌اکسیدانی رقم سیوری (86%) بود در حالیکه در تحقیق حاضر مقدار کمتری برای همین رقم (76/56%) بدست آمد. رضائی و همکاران [28] فعالیت آنتی-اکسیدانی ارقام فرتیل دکوتارد و روند دوپیمونت در منطقه آستارا را به ترتیب 70/3 و 68/9% گزارش کردند. در حالیکه در تحقیق حاضر فعالیت آنتی‌اکسیدانی رقم فرتیل دکوتارد (91/03%) و برای رقم روند دوپیمونت (38/81%) بود که

نشان دهنده سازگاری بهتر رقم فرتیل دکوتارد با شرایط آب و هوایی منطقه اشکورات رودسر است.

3-4- میزان فنول و فلاونوئید کل

مقایسه میانگین‌ها (جدول 1) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار فنول کل مربوط به رقم فرتیل دکوتارد (79/23 میلی گرم گالیک اسید بر 100 گرم وزن تر میوه) و کمترین مربوط به ژنوتیپ اشکور 2 (12/10 میلی گرم گالیک اسید بر 100 گرم وزن تر میوه) است. مقایسه میانگین‌ها (جدول 1) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ارقام در فلاونوئید کل وجود دارد. بیشترین مقدار فلاونوئید کل در رقم فرتیل دکوتارد (10/70 میلی گرم بر 100 گرم وزن تر میوه) و کمترین مربوط به ژنوتیپ اشکور 2 (0/85 میلی گرم بر 100 گرم وزن تر میوه) بود. اولیویرا و همکاران [13] مقدار فنول کل رقم فرتیل دکوتارد را 11/17 میلی گرم گالیک اسید بر گرم، کریستوفوری و همکاران [29] میزان فنول کل سه رقم ایتالیایی به نام‌های نوچیونه¹، توندا جنتیله رومانو² و توندا دوجیفونی³ را به ترتیب 49/05، 47/56 و 44/36 میلی گرم گالیک اسید بر 100 گرم) و لی و پری [30] محتوای فنول کل فندق ترکیه‌ای را 6/61 میلی گرم گالیک اسید بر گرم و فندق اروگوئه را 17/97 میلی گرم گالیک اسید بر گرم گزارش کردند. آلاسالوار و همکاران [26] نشان دادند که روش‌های متفاوت استخراج عصاره باعث تفاوت چشمگیری در نتیجه کل می‌شود به طوری که آن‌ها میزان فنل کل عصاره استخراج شده از مغز فندق با اتانول را 23/2 میلی - گرم گالیک اسید بر 100 گرم و میزان فنل کل استخراج شده با استون را 103 میلی گرم گالیک اسید بر 100 گرم گزارش کردند. آلاسالوار و همکاران [2] همچنین، مقدار فنول کل استخراج شده از مغز فندق با استون (686 میلی گرم کاتچین بر گرم) و متانول را (701 میلی گرم کاتچین بر گرم) گزارش کردند. بنابراین ضروری است که تحقیقات بیشتری نه تنها در مورد عصاره گیری با حلال‌ها و روش‌های مختلف بلکه در مورد روش‌های اندازه گیری با سیستم‌های مختلف انجام گیرد.

4-4- نیتروژن

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین (جدول 2) در میزان نیتروژن موجود در مغز فندق،

تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین ارقام مشاهده شد. بیشترین مقدار نیتروژن در ژنوتیپ‌های اشکور 3 (16434/50 میلی گرم بر کیلوگرم) و اشکور 4 (16272/50 میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار نیتروژن مربوط به ارقام نگرت (10228/33 میلی گرم بر کیلوگرم) و سگورب (10130/50 میلی گرم بر کیلوگرم) بود.

4-5- فسفر

بررسی‌های آماری نشان داد که رقم‌های مختلف از نظر میزان فسفر موجود در مغز فندق، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (جدول 2). بیشترین مقدار فسفر در ژنوتیپ اشکور 4 (5243 میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار فسفر مربوط به ژنوتیپ سوچی (3033 میلی گرم بر کیلوگرم) و رقم نگرت (2979/67 میلی گرم بر کیلوگرم) بود. آلاسالوار و همکاران [26] مقدار فسفر رقم تومبول را (355/7 میلی گرم بر 100 گرم) گزارش کردند، آن‌ها همچنین اعلام کردند که مواد معدنی فندق تحت تاثیر وارسته، منطقه جغرافیایی، زمان برداشت، آب و هوا، ترکیبات خاک، آبیاری، کوددهی و روش‌های کشت قرار می‌گیرد. نور بالا و درجه حرارت بالا باعث افزایش تعلق میوه و یک عامل مهم برای انتقال مواد معدنی به میوه‌ها محسوب می‌شود [31]. علاوه بر این، تفاوت آب و هوایی جزئی که توسط موقعیت پوشش تاج ایجاد می‌شود ممکن است تجمع مواد معدنی در میوه‌ها را تحت تاثیر قرار دهد [32].

4-6- پتاسیم

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول 2) مقدار پتاسیم موجود در مغز فندق بین رقم‌های مختلف در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. بیشترین میزان پتاسیم در رقم سیوری (3535 میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان پتاسیم مربوط به رقم نگرت (1917 میلی گرم بر کیلوگرم) بود. اوزدمیر و همکاران [33] مقدار پتاسیم ده رقم تجاری و هبیرید ترکیه‌ای را در حدود 415 تا 530 میلی گرم بر 100 گرم گزارش کردند، که بسیار بیشتر از مقدار پتاسیم ارقام مورد مطالعه در این پژوهش بود.

4-7- کلسیم

با توجه به بررسی‌های آماری (جدول 2) انجام شده، مشخص شد که رقم‌های مورد مطالعه از نظر میزان کلسیم با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. بیشترین مقدار کلسیم در ژنوتیپ

1. Nocchione
2. Tonda Gentile Romana
3. Tonda di Giffoni

اشکور 2 (1884 میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار کلسیم مربوط به ژنوتیپ سوچی (755 میلی گرم بر کیلوگرم) بود. کوکسال و همکاران [17] مقدار کلسیم 17 رقم ترکیه‌ای را در حدود (65 تا 328 میلی گرم بر 100 گرم) گزارش کردند.

4-8- منیزیم

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول 2) که میزان منیزیم موجود در مغز فندق رقم‌های مختلف اختلاف معنی‌دار دارند. در مقایسه بین مقدار منیزیم موجود در مغز میوه‌ها، بیشترین مقدار منیزیم در ژنوتیپ اشکور 1 (2105/33 میلی گرم بر کیلوگرم) بود در حالیکه کمترین مقدار منیزیم در ارقام فرتیل دکوتارد (923/33 میلی گرم بر کیلوگرم) و سگورب (917 میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. آلاسوار و همکاران [26] مقدار منیزیم رقم تومبول را (176/5 میلی گرم بر 100 گرم) و اوزدمیر و آئینکی [19] مقدار منیزیم ارقام ترکیه‌ای به نام‌های پالاز، تومبول، کاکیلداک و کارا¹ را به ترتیب در حدود (1735، 1588، 1867 و 1714 میلی گرم بر کیلوگرم) گزارش کردند. با توجه به تحقیقات آن‌ها مواد معدنی فندق تنها به وارپته بستگی ندارد بلکه تحت تاثیر شرایط رشدی می‌باشد.

4-9- آهن

مقایسه میانگین‌ها و بررسی‌های آماری نشان داد که ارقام از نظر مقدار آهن موجود در مغز فندق، با یکدیگر در دارای اختلاف معنی‌دار هستند (جدول 2). بیشترین میزان آهن در ژنوتیپ اشکور 2 (72/67 میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین میزان آهن در رقم فرتیل دکوتارد (21/27 میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. آهن، مس و منگنز در اکسیداسیون چربی‌ها و بیوسنتز لینولئیک اسید دخالت دارند [34]. آهن و مس به عنوان عناصر اکسید کننده‌ای که باعث کاهش عمر انبارمانی و ویژگی‌های کیفی فندق می‌شوند مورد توجه قرار گرفته‌اند، چرا که در تغییر طعم مغز فندق نقش دارند [35]. امینی نوری و زیارتی [36] میانگین مقدار آهن ارقام کشت شده در حومه رودسر و طارم را به ترتیب 39/54 و 45/22 میلی گرم بر 100 گرم گزارش کردند.

4-10- منگنز

مقایسه میانگین‌ها و بررسی‌های آماری نشان داد که رقم‌های مورد مطالعه از نظر میزان منگنز موجود در مغز فندق با

یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (جدول 2). رقم سگورب (43/93 میلی گرم بر کیلوگرم) دارای بیشترین مقدار منگنز و رقم فرتیل دکوتارد (15/54 میلی گرم بر کیلوگرم) دارای کمترین مقدار منگنز بود. آلاسوار و همکاران [26] مقدار منگنز رقم تومبول را (3/29 میلی گرم بر 100 گرم)، اوزدمیر و همکاران [33] میزان منگنز ده رقم تجاری و هیبرید جدید ترکیه‌ای را در حدود 1/4 تا 3/1 میلی گرم بر 100 گرم و کوکسال و همکاران [17] میزان منگنز 17 رقم ترکیه‌ای را در حدود (2/4 تا 10 میلی گرم بر 100 گرم) گزارش کردند.

4-11- روی

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها (جدول 2) بین ارقام از نظر میزان روی موجود در مغز فندق، اختلاف معنی‌دار وجود دارد. ژنوتیپ اشکور 2 (65/05 میلی گرم بر کیلوگرم) دارای بیشترین و رقم سیوری (20/87 میلی گرم بر کیلوگرم) دارای کمترین مقدار روی است. آلاسوار و همکاران [26] مقدار روی رقم تومبول را (1/94 میلی گرم بر 100 گرم)، اوزدمیر و همکاران [33] میزان روی ده رقم تجاری و هیبرید جدید ترکیه‌ای را در حدود 2/3 تا 2/9 میلی گرم بر 100 گرم، کوکسال و همکاران [17] میزان روی 17 رقم ترکیه‌ای را در حدود 2/2 تا 4/4 میلی گرم بر 100 گرم) و اوزدمیر و آئینکی [19] مقدار روی ارقام ترکیه‌ای به نام‌های پالاز، تومبول، کاکیلداک و کارا را به ترتیب در حدود (51/37، 36/33، 46/51 و 30/41 میلی گرم بر کیلوگرم) گزارش کردند.

4-12- مس

نتایج نشان داد که، میزان مس موجود در مغز فندق رقم‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار است. در مقایسه بین میانگین‌های (جدول 2) مقدار مس موجود در مغز فندق، بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ اشکور 2 (4/30 میلی گرم بر کیلوگرم) بود در حالیکه کمترین مقدار در ارقام سیوری (1/63 میلی گرم بر کیلوگرم) و نگرت (1/61 میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. آلاسوار و همکاران [26] مقدار مس رقم تومبول را (1/60 میلی گرم بر 100 گرم)، اوزدمیر و همکاران [33] مقدار مس ده رقم تجاری و هیبرید ترکیه‌ای را در حدود 1/2 تا 2/2 میلی گرم بر 100 گرم و اوزدمیر و آئینکی [19] میزان مس ارقام ترکیه‌ای به نام‌های پالاز، تومبول، کاکیلداک و کارا را به ترتیب در حدود (32/97، 30/62، 34/67 و 28/21 میلی گرم بر کیلوگرم) گزارش کردند.

4-13- سلنیوم

سلنیوم به عنوان یک عنصر ضروری برای بدن انسان در غلظت کم شناخته شده است. این ماده مغذی بخش مهمی از آنزیم-های آنتی اکسیدانی است که از سلولها در برابر اثرات رادیکالهای آزاد که به توسعه برخی از بیماریهای مزمن کمک می کنند، محافظت می کند [37]. سلنیوم به صورت سینرژیتی با ویتامین E عمل می کند و در ساختار گلوپروتئین پراکسیداز که یکی از پالایشگرهای قوی H_2O_2 می باشد شرکت دارد [38]. سلنیوم در تشکیل آنزیمهای آنتی اکسیدانی که سلنو پروتئین نامیده می شوند و برای سلامتی مفید هستند، لازم و ضروری است. سلنو پروتئین به کارکرد منظم تیروئید کمک کرده و در سیستم ایمنی بدن نقش مهمی ایفا می کند [39]. ارقام بررسی شده از نظر میزان سلنیوم موجود در مغز فندق، با یکدیگر اختلاف معنی داری نشان دادند. مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد (جدول 2) که ژنوتیپ اشکور 2 (11/54 میلی گرم بر کیلوگرم) بیشترین و رقم مورفینسکی (2/81 میلی گرم بر 100 گرم) کمترین مقدار سلنیوم را دارا هستند. آلاسوا و همکاران [26] مقدار سلنیوم رقم تومبول را (0/06 میلی گرم بر 100 گرم)، دوندر و آلتنداق [37] محتوای سلنیوم سه رقم فندق ترکیه ای به نام های گره فیندیک، تومبول و دلساوا¹ را به ترتیب در حدود 80، 220 و 60 میکروگرم بر 100 گرم گزارش کردند.

4-14- بور

مقایسه میانگین ها و بررسی های آماری نشان داد که رقم های بررسی شده از نظر مقدار بور موجود در مغز فندق، با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند. (جدول 2) نشان می دهد که ژنوتیپ اشکور 1 (11/50 میلی گرم بر کیلوگرم) دارای بیشترین و ژنوتیپ سوچی (2/36 میلی گرم بر کیلوگرم) دارای کمترین میزان بور است.

4-15- سیلیسیم

با توجه به بررسی های انجام شده، مشخص شد که رقم های مورد مطالعه از نظر میزان سیلیسیم موجود در مغز فندق، با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند. مقایسه میانگین داده ها نشان می دهد (جدول 2) که بیشترین مقدار سیلیسیم در ژنوتیپ

اشکور 4 (235/33 میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار سیلیسیم در رقم سگورب (48/15 میلی گرم بر کیلوگرم) است.

5- همبستگی بین صفات

از همبستگی صفات برای بررسی و ایجاد رابطه منطقی و معنی دار بین صفات استفاده می شود. وجود همبستگی بین دو صفت، رابطه خطی بین آن دو را نشان می دهد که در محدوده 1+ و 1- متغیر است [40]. همبستگی بالا بین صفات این امکان را فراهم می کند تا بتوان از راه اندازه گیری هر کدام از صفات به وضعیت صفت همبسته پی برد، بنابراین از این طریق می توان با صرف زمان و هزینه کمتر بطور غیر مستقیم یک صفت را اندازه گیری کرد. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی که در جدول (3) آورده شده است نشان می دهد در بین بیشتر صفات اندازه گیری شده همبستگی معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد وجود دارد. همان طور که مشاهده می شود بین ویتامین ث با مقدار کلسیم و منیزیم در سطح احتمال یک درصد و مس، بور، سلنیوم و سیلیسیم در سطح احتمال پنج درصد همبستگی مثبت و با منگنز در سطح احتمال یک درصد همبستگی منفی وجود دارد. از آنجایی که ویتامین ث به راحتی می تواند الکترون بدهد و با این فرآیند می تواند به صورت قابل برگشت به رادیکال آسکوربیک اکسیده شود قادر است یک سیستم اکسایش کاهشی فراهم آورد که بسیاری از واکنش های انتقال الکترون در آن صورت می گیرد را شامل می شود. وجود همبستگی بالا بین ویتامین ث با مقدار کلسیم و منیزیم می تواند به دلیل نقش مهم سیگنال دهنده ویتامین ث برای این دو عنصر و افزایش جذب آن ها در منابع گیاهی باشد. محتوای آنتی اکسیدان کل با فنول و فلاونوئید کل در سطح احتمال یک درصد دارای همبستگی مثبت و با تمامی عناصر بجز پتاسیم و منگنز دارای همبستگی منفی در سطح احتمال یک درصد بود. همبستگی بالای محتوای آنتی اکسیدان کل با فنول و فلاونوئید کل نشان می دهد که مقادیر بالای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی باعث افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی می شوند. بین محتوای فنول کل با فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و با فسفر، نیتروژن، کلسیم، بور، سلنیوم، سیلیسیم، آهن، روی و مس همبستگی منفی وجود داشت. همچنین بین فلاونوئید با منگنز، فسفر، نیتروژن، بور، سلنیوم، سیلیسیم و مس همبستگی منفی مشاهده شد. در این

معنی‌داری را نشان داد. اوزدمیر و همکاران [33] اعلام کردند که منگنز همبستگی مثبتی با روی و کلسیم دارد در صورتی که در نتایج ما بین منگنز با کلسیم همبستگی منفی وجود داشت. همچنین بین روی با فسفر، نیتروژن، کلسیم، منیزیم، بور، سلنیوم، سیلیم و مس همبستگی مثبت مشاهده شد که مطابق با نتایج اوزدمیر و همکاران [33] بود که اعلام کردند روی همبستگی مثبتی با کلسیم دارد.

بررسی نشان داده شد که بین نیتروژن و فسفر، کلسیم، منیزیم، بور، سلنیوم، سیلیم، آهن، روی و مس همبستگی مثبت و با منگنز همبستگی منفی وجود دارد. از سویی ارتباط مثبتی بین کلسیم و منیزیم، بور، سلنیوم، سیلیم مشاهده شد. نتایج حاصل از همبستگی داده‌ها بین آهن و مس و اغلب عناصر ارتباط مثبت و با پتاسیم رابطه‌ی منفی و بین منگنز با مس، فسفر، نیتروژن، کلسیم، منیزیم، بور و سیلیم رابطه منفی

Table 1 Mean comparison of antioxidant composition of 11 cultivar and genotypes of hazelnut fruit in Rudsar Eshkevarat region

Genotype/cultivar	Source	Antioxidant capacity (%)	Total phenols (mg GAE/100gr FW)	Total flavonoid (mgQ/100gr FW)	Ascorbic acid (mg/100gr FW)
Eshkevar3	Iran	28. 71±0. 13 ^h	25. 69±0. 07 ^h	1. 43±0. 02 ^h	46. 84±0. 91 ^g
Fertile decotard	France	91. 03±0. 13 ^b	79. 23±0 ^a	10. 70±0. 03 ^a	67. 60±0. 02 ^c
Ronde dupimont	Italy	38. 81±0. 23 ^f	61. 86±0. 23 ^d	4. 38±0. 01 ^e	77. 63±0. 14 ^a
Negreta	Spain	91. 76±0. 11 ^a	77. 95±0. 23 ^b	10. 49±0. 18 ^b	52. 26±0. 06 ^f
Segorbe	Spain	23. 25±0. 12 ⁱ	26. 20±0. 20 ^h	1. 13±0. 01 ⁱ	46. 30±0. 39 ^g
Eshkevar4	Iran	21. 83±0. 11 ^j	19. 67±0. 11 ⁱ	1. 49±0. 02 ^h	67. 98±0. 04 ^c
Eshkevar2	Iran	21. 72±0. 17 ^j	12. 10±0. 19 ^j	0. 85±0. 02 ^j	58. 47±1. 40 ^e
Eshkevar1	Iran	31. 34±0. 04 ^g	46. 85±0. 32 ^e	6. 21±0. 02 ^c	71. 59±0. 12 ^b
Morfineski	Georgia	58. 23±0. 04 ^e	40. 98±0. 04 ^g	3. 10±0. 01 ^f	61. 26±0. 14 ^d
Sivri	Turkey	76. 56±0. 06 ^c	42. 38±0. 16 ^f	1. 84±0. 03 ^g	51. 44±0. 06 ^f
Sochi	Russia	61. 63±0. 15 ^d	68. 27±0. 67 ^c	4. 90±0. 01 ^d	43. 26±0. 14 ^h

In each column similar letters show no significant differences based on Duncan's multiple range test (5%).
±: Standard deviation

Table 2 Mean comparison of phytochemical composition of 11 cultivar and genotypes of hazelnut fruit in Rudsar Eshkevarat region

Genotype/cultivar	Source	Silicon (mg/kg)	Copper (mg/kg)	Iron (mg/kg)	Magnesium (mg/kg)
Eshkevar3	Iran	189. 33±4. 10 ^c	2. 58±0. 15 ^d	59. 51±0. 94 ^b	1875. 50±10. 10 ^c
Fertile decotard	France	83. 80±4. 10 ^g	2. 15±0. 10 ^e	21. 27±0. 36 ^g	923. 33±30. 33 ^g
Ronde dupimont	Italy	119. 67±1. 86 ^e	2. 56±0. 05 ^d	56. 63±0. 69 ^c	1958±15. 01 ^b
Negreta	Spain	92. 10±0. 81 ^f	1. 61±0. 17 ^g	45. 70±0. 66 ^d	1352. 33±18. 62 ^d
Segorbe	Spain	48. 15±0. 38 ⁱ	1. 84±0. 05 ^{fg}	37. 96±0. 09 ^e	917±2. 31 ^g
Eshkevar4	Iran	235. 33±11. 57 ^a	3. 68±0. 01 ^b	44. 16±0. 41 ^d	1863. 67±49. 46 ^c
Eshkevar2	Iran	214. 33±4. 91 ^b	4. 30±0. 10 ^a	72. 67±0. 30 ^a	1351±48. 50 ^d
Eshkevar1	Iran	166. 50±0. 29 ^d	3±0. 07 ^c	61. 03±1. 01 ^b	2105. 33±19. 20 ^a
Morfineski	Georgia	81. 60±0. 69 ^{fg}	2. 27±0. 03 ^e	27. 53±0. 80 ^f	1102. 50±1. 44 ^{ef}
Sivri	Turkey	76±1. 85 ^g	1. 63±0. 09 ^g	27. 78±0. 39 ^f	1149. 50±16. 45 ^e
Sochi	Russia	61. 55±0. 66 ^h	2. 06±0. 07 ^{ef}	37. 51±0. 11 ^e	1060. 50±10. 10 ^f

In each column similar letters show no significant differences based on Duncan's multiple range test (5%).
±: Standard deviation

Continued Table 2 Mean comparison of phytochemical composition of 11 cultivar and genotypes of hazelnut fruit in Rudsar Eshkevarat region

Genotype/cultivar	Source	Calcium (mg/kg)	Boron (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Selenium (mg/kg)
Eshkevar3	Iran	1586.33±63.73 ^c	9.29±0.03 ^c	55.26±0.07 ^b	8.56±0.16 ^c
Fertile decotard	France	1161.67±9.53 ^f	3.64±0.07 ^g	27.69±1.32 ^g	4.55±0.10 ^f
Ronde dupimont	Italy	1247.33±21.40 ^e	7.55±0.17 ^e	51.61±0.29 ^c	7.84±0.06 ^d
Negreta	Spain	928±5.77 ^g	3.46±0.20 ^g	38.51±0.80 ^e	3.53±0.13 ^g
Segorbe	Spain	935±10.69 ^g	4.33±0.03 ^f	26.35±0.61 ^g	4.49±0.04 ^f
Eshkevar4	Iran	1481.67±57.85 ^d	10.12±0.08 ^b	48.32±0.56 ^d	9.31±0.21 ^b
Eshkevar2	Iran	1884±3.46 ^a	8.64±0.27 ^d	65.05±1.33 ^a	11.54±0.17 ^a
Eshkevar1	Iran	1771±9.64 ^b	11.50±0.16 ^a	33.83±0.30 ^f	9.20±0.03 ^b
Morfineski	Georgia	1257.67±10.93 ^e	3.57±0.19 ^g	33.50±0.17 ^f	2.81±0.02 ^h
Sivri	Turkey	856.67±11.26 ^g	7.50±0.23 ^e	20.87±1.40 ^h	3.47±0.19 ^g
Sochi	Russia	755±16.17 ^h	2.36±0.08 ^h	32.63±0.61 ^f	5.41±0.03 ^e

In each column similar letters show no significant differences based on Duncan's multiple range test (5%).
±: Standard deviation

Continued Table 2 Mean comparison of phytochemical composition of 11 cultivar and genotypes of hazelnut fruit in Rudsar Eshkevarat region

Genotype/cultivar	Source	Nitrogen (mg/kg)	Phosphorus (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	Manganese (mg/kg)
Eshkevar3	Iran	16434.50±26.27 ^a	4909.67±61.72 ^b	2307.67±20.50 ^f	25.83±0.06 ^d
Fertile decotard	France	11390.67±56.13 ^e	3791.33±92.66 ^e	2543.33±38.72 ^d	15.54±0.03 ^g
Ronde dupimont	Italy	12358.50±140.01 ^c	3530.67±86.03 ^f	3397.33±32.82 ^b	23.60±0.13 ^e
Negreta	Spain	10228.33±103.09 ^f	2979.67±28.94 ^h	1917±39.31 ^h	23.52±0.06 ^e
Segorbe	Spain	10130.50±71.30 ^f	3737.33±79.74 ^e	2709±21.36 ^c	43.93±1.13 ^a
Eshkevar4	Iran	16272.50±22.23 ^a	5243±7.51 ^a	2111±15.01 ^g	18.18±0.06 ^f
Eshkevar2	Iran	13844.50±78.81 ^b	4172.33±58.98 ^d	2385.33±45.18 ^{ef}	25.65±0.22 ^d
Eshkevar1	Iran	13668±192.31 ^b	4473±66.65 ^c	2431.33±22.36 ^e	17.79±0.22 ^f
Morfineski	Georgia	11913±289.25 ^d	3473.67±17.13 ^f	2120.33±38.62 ^g	23.35±0.03 ^e
Sivri	Turkey	12480±120.67 ^c	3199±31.34 ^g	3535±32.08 ^a	35.71±1.11 ^c
Sochi	Russia	11680±56.04 ^d	3033±43.09 ^h	2384±17.01 ^{ef}	41.94±1.15 ^b

In each column similar letters show no significant differences based on Duncan's multiple range test (5%).
±: Standard deviation

Table 3 Correlation coefficients between evaluated traits in 11 cultivar and genotypes of hazelnut fruit

	An	Ph	Fl	VC	Si	Cu	Fe	Mg
An	1							
Ph	0.82 ^{**}	1						
Fl	0.75 ^{**}	0.89 ^{**}	1					
VC	0.12 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.23 ^{ns}	1				
Si	-0.61 ^{**}	-0.59 ^{**}	-0.34 [*]	0.36 [*]	1			
Cu	-0.67 ^{**}	-0.61 ^{**}	-0.40 [*]	0.40 [*]	0.87 ^{**}	1		
Fe	-0.68 ^{**}	-0.43 [*]	-0.29 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.70 ^{**}	0.67 ^{**}	1	
Mg	-0.51 ^{**}	-0.22 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.52 ^{**}	0.71 ^{**}	0.48 ^{**}	0.69 ^{**}	1
Ca	-0.63 ^{**}	-0.56 ^{**}	-0.27 ^{ns}	0.46 ^{**}	0.84 ^{**}	0.85 ^{**}	0.72 ^{**}	0.63 ^{**}
B	-0.63 ^{**}	-0.58 ^{**}	-0.42 [*]	0.42 [*]	0.81 ^{**}	0.65 ^{**}	0.65 ^{ns}	0.82 ^{**}
Zn	-0.56 ^{**}	-0.45 ^{**}	-0.32 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.78 ^{**}	0.76 ^{**}	0.81 ^{**}	0.55 ^{**}
Se	-0.74 ^{**}	-0.54 ^{**}	-0.37 [*]	0.34 [*]	0.88 ^{**}	0.89 ^{**}	0.85 ^{**}	0.68 ^{**}

Ph: Phenol Fl: Flavonoid VC: Vitamin C Si: Silicon Cu: Copper Fe: Iron Mg: Magnesium Ca: Calcium
B: Boron Zn: Zinc Se: Selenium An: Antioxidan

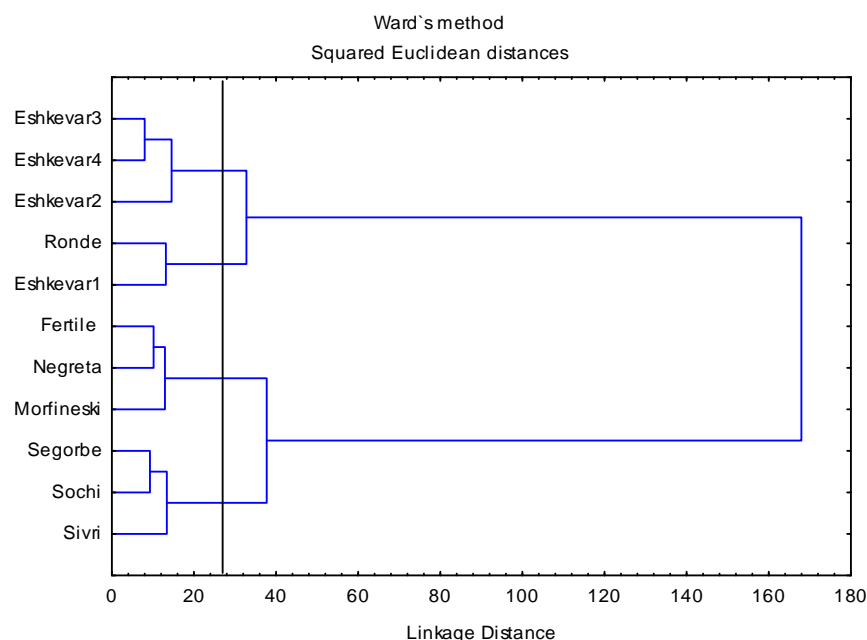
** , *, ns: significant difference at P< 0.01 and P< 0.05 and non-significant, respectively.

Continued Table 3 Correlation coefficients between evaluated traits in 11 cultivar and genotypes of hazelnut fruit

	N	P	K	Mn	Ca	B	Zn	Se
N	1							
P	0.85**	1						
K	-0.14	-0.27	1					
Mn	-0.39*	-0.46**	0.31	1				
Ca	0.69**	0.75**	-0.23	-0.60**	1			
B	0.79**	0.76**	0.13	-0.40*	0.76**	1		
Zn	0.60**	0.50**	-0.24	-0.33	0.69**	0.48**	1	
Se	0.72**	0.72**	-0.09	-0.33	0.83**	0.78**	0.80**	1
An	-0.58**	-0.69**	0.03	-0.07	-0.63**	-0.63**	-0.56**	-0.74**
Ph	-0.60**	-0.64**	0.06	-0.12	-0.56**	-0.58**	-0.45**	-0.54**
FL	-0.49**	-0.40*	-0.23	-0.41*	-0.27	-0.42*	-0.32	-0.37*
Vc	0.19	0.29	0.16	-0.76**	0.46**	0.42*	0.21	0.34*
Si	0.87**	0.84**	-0.29	-0.55**	0.85**	0.81**	0.78**	0.88**
Cu	0.66**	0.69**	-0.24	-0.42*	0.85**	0.65**	0.76**	0.89**
Fe	0.48**	0.45**	-0.11	-0.18	0.72**	0.65	0.81**	0.85**
Mg	0.68**	0.61**	-0.01	-0.51**	0.63**	0.82**	0.55**	0.68**

N: Nitrogen P: Phosphorus K: Potassium Mn: Manganese Mg: Magnesium Ca: Calcium B: Boron Zn: Zinc
Se: Selenium

**, *, ns: significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ and non-significant, respectively.

**Fig 1** Dendrogram of cultivars and genotypes of hazelnut based on ward's method

درختواره‌ای دندروگرام به دست آمده در فاصله 27 بر پایه تجزیه تابع تشخیص، ارقام به چهار گروه اصلی تقسیم شدند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های اشکور3، اشکور4 و اشکور2 بود که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و عناصر غذایی نقش مهمی را در تفکیک این گروه داشتند. در گروه دوم رقم روند دوپیمونت و ژنوتیپ اشکور1 قرار گرفتند. که بیش‌ترین میانگین مقدار

6- تجزیه خوشه‌ای

برای بررسی میزان همانندی‌ها و تفاوت‌های بین ارقام و ژنوتیپ‌های فندق از تجزیه خوشه‌ای استفاده شد (شکل 1). در این بررسی گروه‌بندی ارقام و ژنوتیپ‌های فندق با استفاده از همه صفات مورد بررسی به روش وارد و با استفاده از مربع فاصله اقلیدسی صورت گرفت. با برش نمودار شجره‌ای یا

- [2] Alasalvar, C. , Karamać, M. , Amarowicz, R. and Shahidi, F. 2006. Antioxidant and antiradical activities in extracts of hazelnut kernel (*Corylus avellana* L.) and hazelnut green leafy cover. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54: 4826-4832.
- [3] Altun, M. , Celik, S. E. , Güçlü, K. , Özyürek, M. , Erçağ, E. and Apak, R. , 2011. Total antioxidant capacity and phenolic contents of Turkish hazelnut (*Corylus avellana* L.) kernels and oils. Journal of Food Biochemistry, 37: 53-61.
- [4] Amaral, J. S. , Ferreres, F. , Andrade, P. B. , Valentão, P. , Pinheiro, C. , Santos, A. and Seabra, R. , 2005. Phenolic profile of hazelnut (*Corylus avellana* L.) leaves cultivars grown in Portugal. Natural Product Research, 19: 157-163.
- [5] Contini, M. , Baccelloni, S. , Massantini, R. and Anelli, G. , 2008. Extraction of natural antioxidants from hazelnut (*Corylus avellana* L.) shell and skin wastes by long maceration at room temperature. Food Chemistry, 110: 659-669.
- [6] Locatelli, M. , Travaglia, F. , Coisson, J. D. , Martelli, A. , Stevigny, C. and Arlorio, M. , 2010. Total antioxidant activity of hazelnut skin (Nocciola Piemonte PGI): Impact of different roasting conditions. Food Chemistry, 119: 1647-1655.
- [7] Huang, D. , Ou, B. and Prior, R. L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53: 1841-1856.
- [8] Delgado, T. , Malheiro, R. , Pereira, J. A. and Ramalhosa, E. , 2010. Hazelnut (*Corylus avellana* L.) kernels as a source of antioxidants and their potential in relation to other nuts. Industrial Crops and Products, 32: 621-626.
- [9] Kaur, C. and Kapoor, H. C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. International Journal of Food Science and Technology, 36: 703-725.
- [10] Moure, A. , Cruz, J. M. , Franco, D. , Domínguez, J. M. , Sineiro, J. , Domínguez, H. , Núñez, M. J. and Parajó, J. C. 2001. Natural antioxidants from residual sources. Food Chemistry, 72: 145-171.
- [11] Contini, M. , Frangipane, M. T. and Massantini, R. , 2011. Antioxidants in hazelnuts (*Corylus avellana* L.). In Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention, 611-625.

اسکوربیک اسید و منیزیم را داشتند. گروه سوم شامل ارقام فرتیل دکوتارد، نگرت و مورفینسکی بود که ظرفیت آنتی اکسیدانی، مقدار فنول و فلاونوئید کل در تفکیک این گروه بیشترین تأثیر را داشتند. در گروه چهارم نیز ارقام سگورب، سیوری و ژنوتیپ سوچی قرار گرفتند که بیشترین مقدار منگنز را داشتند. نتایج بدست آمده از تجزیه خوشه‌ای نشان داد که قرار گرفتن ارقام و ژنوتیپ‌های فندق در خوشه‌های مختلف نشان‌دهنده وجود تنوع بالا در بین ارقام از نظر صفات مورد بررسی می‌باشد.

7- نتیجه‌گیری کلی

ژنوتیپ‌های بومی از لحاظ عناصر معدنی نسبت به ارقام وارداتی مقادیر بیشتری را داشتند که نشان‌دهنده سازگاری بیشتر این ارقام با خاک منطقه و جذب و دریافت بهتر عناصر از خاک می‌باشد. رقم فرتیل دکوتارد دارای بیشترین مقدار فنول و فلاونوئید کل بود و از آن جایی که مواد فنولی از اکسیداسیون مغز فندق در طول انبارداری محافظت می‌کنند می‌تواند عمر ماندگاری بیشتری نسبت به بقیه ارقام داشته باشد. رقم روند دوپیمونت دارای بیشترین میزان ویتامین ث، رقم سگورب دارای بیشترین مقدار منگنز، بیشترین مقدار پتاسیم در رقم سیوری و بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی در رقم نگرت مشاهده شد. که نشان دهنده پتانسیل عالی آن‌ها به عنوان منبع ترکیبات زیست فعال می‌باشد. در نتیجه این ارقام می‌توانند به عنوان ارقامی مفید در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج بدست آمده از این پژوهش اطلاعات مهمی درباره ترکیبات فیتوشیمیایی و ظرفیت آنتی اکسیدانی برخی ارقام و ژنوتیپ‌های فندق در منطقه اشکورات رودسر را فراهم می‌کند که این نتایج می‌تواند در انتخاب ارقام مناسب به منظور ارتقای کیفیت تغذیه‌ای بسیار سودمند باشد.

8- منابع

- [1] Alasalvar, C. , Karamać, M. , Kosińska, A. , Rybarczyk, A. , Shahidi, F. and Amarowicz, R. 2009. Antioxidant activity of hazelnut skin phenolics. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57: 4645-4650.

- [23] Dehghan, G. and Khoshkam, Z. 2012. Tin (II)-quercetin complex: Synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 131: 422-427.
- [24] Simonne, E. H. , Jones, H. A. , Mills, D. A. , Snittleand C. and Hussey, G. 1993. Influence of catalyst, sample weight, and digestion conditions on Kjeldahl N. *Commun. Soil Science Plant Anal*, 24: 1609-1616.
- [25] Emami A. (1996). Plant decomposition methods. *Soil &Water Research Institute. Tehran Iran*. 1, 128
- [26] Alasalvar, C. , Shahidi, F. , Liyanapathirana, C. M. and Ohshima, T. , 2003. Turkish tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.). 1. Compositional characteristics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 3790-3796.
- [27] Açkurt, F. , Özdemir, M. , Biringen, G. and Löker, M. , 1999. Effects of geographical origin and variety on vitamin and mineral composition of hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties cultivated in Turkey. *Food Chemistry*, 65: 309-313.
- [28] Rezaei, F. , Bakhshi, D. , Ghazvini, R. F. , Majd, D. J. and Pourghayoumi, M. , 2014. Evaluation of fatty acid content and nutritional properties of selected native and imported hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties grown in Iran. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 87.
- [29] Cristofori, V. , Bertazza, G. and Bignami, C. , 2015. Changes in kernel chemical composition during nut development of three Italian hazelnut cultivars. *Fruits*, 70: 311-322.
- [30] Li, H. and Parry, J. W. , 2011. Phytochemical compositions, antioxidant properties, and colon cancer antiproliferation effects of Turkish and Oregon hazelnut. *Food and Nutrition Sciences*, 2: 11-42.
- [31] Lewallen, K. S. and Marini, R. P. , 2003. Relationship between flesh firmness and ground color in peach as influenced by light and canopy position. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128: 163-170.
- [32] Pannico, A. , Cirillo, C. , Giaccone, M. , Scognamiglio, P. , Romano, R. , Caporaso, N. , Sacchi, R. and Basile, B. , 2017. Fruit position within the canopy affects kernel lipid composition of hazelnuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97: 4790-4799.
- [12] Shahidi, F. , Alasalvar, C. and Liyana-Pathirana, C. M. 2007. Antioxidant phytochemicals in hazelnut kernel (*Corylus avellana* L.) and hazelnut byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 1212-1220.
- [13] Oliveira, I. , Sousa, A. , Morais, J. S. , Ferreira, I. C. , Bento, A. , Estevinho, L. and Pereira, J. A. 2008. Chemical composition, and antioxidant and antimicrobial activities of three hazelnuts (*Corylus avellana* L.) cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 1801-1807.
- [14] Senter, S. D. , Horvat, R. J. and Forbus, W. R. 1983. Comparative GLC-MS Analysis of phenolic acids of selected tree nuts. *Journal of Food Science*, 48: 798-799.
- [15] Oliveira, I. , Sousa, A. , Valentão, P. , Andrade, P. B. , Ferreira, I. C. , Ferreres, F. , Bento, A. , Seabra, R. , Estevinho, L. and Pereira, J. A. , 2007. Hazel (*Corylus avellana* L.) leaves as source of antimicrobial and antioxidative compounds. *Food Chemistry*, 105: 1018-1025.
- [16] Kornsteiner, M. , Wagner, K. H. and Elmadfa, I. 2006. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry*, 98: 381-387.
- [17] Köksal, A. İ. , Artik, N. , Şimşek, A. and Güneş, N. 2006. Nutrient composition of hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties cultivated in Turkey. *Food Chemistry*, 99: 509-515.
- [18] Shahidi, F. Functional foods. Their role in health promotion and disease prevention. *Journal of Food Science*, 2004: 146-149.
- [19] Ozdemir, F. and Akinci, I. 2004. Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering*, 63: 341-347.
- [20] Bor, J. Y. , Chen, H. Y. and Yen, G. Ch. 2006. Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54: 1680-1686.
- [21] Kaijv, M. , Sheng, L. and Chao, C. 2006. Antioxidation of flavonoids of Green Rhizome. *Food Science and Technology*, 27: 110-115.
- [22] Singleton, V. L. and Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158.

- [37] Dundar, M. S. and Altundag, H. , 2004. Selenium content of Turkish hazelnut varieties: kara Fındık, Tombul and Delisava. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17: 707-712.
- [38] Beladel, B. , Nedjimi, B. , Mansouri, A. , Tahtat, D. , Belamri, M. , Tchanchane, A. , Khelfaoui, F. and Benamar, M. E. A. , 2013. Selenium content in wheat and estimation of the selenium daily intake in different regions of Algeria. *Applied Radiation and Isotopes*, 71: 7-10.
- [39] Hartikainen, H. , 2005. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18: 309-318.
- [40] Forde, H. I. (1975). Walnuts. In: Janick, J. and Moore, J. N. Purdue University Press, West Lafayette, IN. (Eds.). *Advances in Fruit Breeding*, 439-455.
- [33] Oëzdemir, M. , Açkurt, F. , Kaplan, M. , Yıldız, M. , Löker, M. , Gürcan, T. , Biringen, G. , Okay, A. and Seyhan, F. G. 2001. Evaluation of new Turkish hybrid hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties: fatty acid composition, α -tocopherol content, mineral composition and stability. *Food Chemistry*, 73: 411-415.
- [34] Parcerisa, J. , Boatella, J. , Codony, R. , Rafecas, M. , Castellote, A. I. and Romero, A. , 1995. Comparison of fatty acid and triacylglycerol compositions of different hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.) cultivated in Catalonia (Spain). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43: 13-16.
- [35] White, P. J. and Broadley, M. R. , 2005. Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80: 660-667.
- [36] Amini-Nouri, F. and Ziarati, P. , 2015. Chemical composition of native hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties in Iran, association with ecological conditions. *Bioscience and Biotechnology Research Asia*, 12: 2053-2060.

Investigation of phytochemical compounds and antioxidant capacity of 11 cultivars and genotypes of hazelnut fruit in Rudsar Eshkevarat region

Yaghobifar, Sh.¹, Rabiei, V.^{2*}, Razavi, F.³, Javadi, D.⁴, Hassani, A.⁵

1. Former M. Sc. Student Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4. Scientific Member of Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Guilan, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

(Received: 2020/02/08 Accepted: 2020/06/06)

As one of the most important nuts, hazelnut (*Corylus avellana* L.) contain a valuable set of antioxidants and nutrients. The quality of hazelnut kernel was strongly affected by kernel compounds. The antioxidant capacity and biochemical compounds depends more on the cultivar, climatic conditions and the interaction between climatic conditions and genotypes. The present study was conducted to determine the quality properties including vitamin C, antioxidant activity, total phenol, flavonoid and mineral element in 11 cultivars and genotypes included seven imported cultivars (Ronde dupimont, Negreta, Segorbe, Sivri, Morfineski, Fertile decotard and Sochi), and four local Iranian genotypes (Eshkevar1, Eshkevar2, Eshkevar3 and Eshkevar 4) in the Rudsar Eshkevarat region in 2017. Analysis of variance results were showed that there was significant difference ($P \leq 0.01$) among examined cultivars for all characters and showed high genetic variation in all of the studied cultivars. Correlation analysis showed the existence of significant positive and negative correlation among some important traits. According to the cluster analysis dendrogram performed by "Ward" method, cultivar and genotypes of hazelnut in Euclidian distance 27 were classified into four clusters.

Keywords: Hazelnut, Mineral elements, Antioxidant properties, Cluster analysis

* Corresponding Author E-Mail Address: rabiei@znu. ac. ir