دانشکده علوم

گروه زیست شناسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

(گرایش فیزیولوژی گیاهی)

مطالعه آناتومیکی و خواص پاداکسایشی ترکیبات فنولی در برگ‌های چند واریته انگور ارومیه (*Vitis vinifera* L.)

تنظیم و نگارش:

فاطمه عباسی

اساتید راهنما:

دکتر رشید جامعی دکتر سیاوش حسینی سرقین

شهریور ماه ۱۳۹۱

حق چاپ و نشر این اثر برای دانشگاه ارومیه محفوظ است.

بسم الله الرحمن الرحيم

با تشکر و سپاس بیکران

تقدیم به

پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن ها بوده ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

تقدیم به

همسر مهربانم، پناه خستگیم و امید بودنم

برادر و خواهران عزیزم به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

پس از سپاس و ثنای بی حد بر آستان صفات بی همتای احدیت که در کمال رافت و نهایت عطوفت رخصت اتمام این پایان نامه را به نگارنده عطا فرموده است از اساتید راهنمای فاضل و اندیشمندم جناب آقای دکتر جامعی و جناب آقای دکتر حسینی که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند کمال تشکر را دارم.

از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر حیدری و جناب آقای دکتر خاراکه زحمت داوری این پایان نامه را قبول کردند قدردانی می نمایم.

با سپاس بی دریغ خدمت دوستان گران مایه ام خانم ها فاطمه محمد حسنی، مریم الماسی، آرزو حیدری، حذرا خلیلی، منیژه محمدی، سیده مریم موسویان کلات، مهسا روحی و آقای عبدالعلی سلیمی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.

و با تشکر خالصانه خدمت همه ی کسانی که به نوعی مرا در به انجام رسانیدن این مهم یاری نموده اند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده..... ۱

۱- فصل اول: کلیات..... ۲

۱-۱- مطالعات بیوشیمیایی..... ۳

۱-۱-۱- رادیکال‌های آزاد و انواع آن..... ۳

۱-۱-۲- سازوکارهای مقابله با رادیکال های آزاد..... ۳

۱-۱-۲-۱- سازوکار با منشا درونی..... ٤

۱-۱-۲-۲- سازوکار با منشا بیرونی..... ٤

۱-۱-۳- پاداکساینده‌های طبیعی و مصنوعی..... ٥

۱-۱-٤- ترکیبات فنولی در گیاهان..... ٦

۱-۱-٤-۱- اسیدهای فنولیک..... ٦

۱-۱-٤-۲- فلاونوئیدها..... ۷

۱-۱-٤-۳- تانن‌ها..... ۸

۱-۲- کلیات گیاه‌شناسی..... ۹

۱-۳- خواص درمانی برگ مو..... ۱۰

۱-٤- مطالعات آناتومیکی..... ۱۱
۱-٤-۱- ریخت‌شناسی برگ..... ۱۱
۱-٤-۲- بافت‌شناسی برگ سبز..... ۱۱
۱-٤-۲-۱- روپوست یا اپیدرم..... ۱۱
۱-٤-۲-۲- مزوفیل یا میان‌برگ..... ۱۲
۱-٤-۲-۳- بافت آوندی..... ۱۳
۱-٤-۳- ساختمان دمبرگ..... ۱٤
۱-٤-٤- بافت‌های بالغ گیاهی..... ۱۵
۱-٤-٤-۱- بافت پارانشیم..... ۱۵
۱-٤-٤-۲- بافت کلانشیم..... ۱۵
۱-۵- ارقام انگور مورد آزمایش..... ۱٦
۱-۵-۱- قزل اوزوم..... ۱٦
۱-۵-۲- بیدانه قرمز..... ۱۷
۱-۵-۳- ریش بابا..... ۱۷
۱-۵-٤- تبرزه قرمز..... ۱۷
۱-٦- سابقه‌ی تحقیق..... ۱۷
۲- فصل دوم: مواد و روش‌ها..... ۱۹

۲-۱- مطالعات بیوشیمیایی..... ۲۰
۲-۱-۱- جمع‌آوری نمونه‌ها..... ۲۰
۲-۱-۲- عصاره‌گیری..... ۲۰
۲-۱-۳- تعیین محتوای فنول کل..... ۲۰
۲-۱-٤- تعیین محتوای فلاونوئید کل..... ۲۱
۲-۱-۵- سنجش درصد جمع‌آوری رادیکال DPPH ۲۱
۲-۱-٦- سنجش درصد جمع‌آوری رادیکال هیدروژن پراکسید..... ۲۱
۲-۱-۷- تعیین درصد جمع‌آوری رادیکال سوپراکسید..... ۲۲
۲-۱-۸- تعیین درصد جمع‌آوری رادیکال نیتریک اکسید..... ۲۲
۲-۱-۹- سنجش قدرت احیا..... ۲۳
۲-۱-۱۰- سنجش ظرفیت مهار پراکسیداسیون چربی با روش تیوباربیتوریک اسید(TBA)..... ۲۳
۲-۲- مطالعات آناتومیکی..... ۲٤
۲-۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌های برگ مورد مطالعه..... ۲٤
۲-۲-۲- رنگ آمیزی معمولی به روش کارمن زاجی – سبز متیل..... ۲٤
۲-۳- آنالیز آماری..... ۲۵
۳- فصل سوم: نتایج وبحث..... ۲٦
۳-۱- مطالعات بیوشیمیایی..... ۲۷

۳-۱-۱- محتوای فنول کل..... ۲۷

۳-۱-۲- محتوای فلاونوئید کل..... ۲۹

۳-۱-۳- جمع‌آوری رادیکال DPPH ۳۱

۳-۱-٤- درصد جمع‌آوری رادیکال هیدروژن پراکسید..... ۳٤

۳-۱-٥- درصد جمع‌آوری رادیکال سوپراکسید..... ۳۷

۳-۱-٦- درصد جمع‌آوری رادیکال نیتریک اکسید..... ٤۰

۳-۱-۷- قدرت احیا..... ٤۲

۳-۱-۸- مهارکنندگی پراکسیداسیون چربی..... ٤٥

۳-۲- مطالعات آناتومیکی..... ٤۸

۳-۲-۱- مطالعات آناتومیکی برگ..... ٤۸

۳-۲-۱-۱- مطالعات مربوط به تیپ برگ و تعداد لایه‌های پارانشیمی..... ٤۸

۳-۲-۱-۲-نتایج مربوط به ضخامت برگ و رگبرگ میانی و اندازه سلول‌های اپیدرمی..... ٤۹

۳-۲-۲- مطالعات آناتومیکی دمبرگ..... ٥۳

۳-۲-۲-۱- نتایج مربوط به ضخامت دمبرگ وتعداد دستجات آوندی دمبرگ..... ٥۳

۳-۲-۲-۲- نتایج مربوط به اندازه دستجات آوندی، سلول آوندی و کلانشیم..... ٥٥

۳-۳- نتیجه‌گیری کلی..... ٥۹

پیشنهادات..... ٦۰

ضمائم..... ٦١

منابع..... ٦٢

Abstract ٧١

فهرست شکل‌ها، جدول‌ها و نمودارها

شکل‌ها

شکل ۱-۱- ساختار یک مولکول فلاونوئید.....۸

شکل ۳-۱- برش عرضی برگ در ٤ رقم انگور.....۵۰

شکل ۳-۲- طول بزرگترین سلول اپیدرم برگ در ٤ رقم انگور.....۵۱

شکل ۳-۳- برش عرضی رگبرگ میانی ٤ رقم انگور.....۵۲

شکل ۳-٤- مقطع عرضی دمبرگ در ٤ رقم انگور.....۵٤

شکل ۳-۵- دستجات آوندی دمبرگ در ٤ رقم انگور.....۵٦

شکل ۳-٦- کلانشیم دمبرگ در ٤ رقم انگور.....۵۷

شکل ۳-۷- بزرگترین سلول چوب دمبرگ در ٤ رقم انگور.....۵۸

جدول‌ها

جدول ۱-۱- مهم‌ترین رده‌های ترکیبات فنولی در گیاهان.....۷

جدول ۳-۱- نتایج مربوط به تیپ برگ و تعداد لایه‌های پارانشیمی.....٤٨

جدول ۳-۲- نتایج مربوط به ضخامت برگ، ضخامت رگبرگ میانی و اندازه سلول‌های اپیدرمی.....٤٩

جدول ۳-۳- نتایج مربوط به ضخامت دمبرگ و تعداد دستجات آوندی دمبرگ.....۵۳

دول ۳-٤- نتایج مربوط به عرض بزرگترین دسته آوندی، عرض بزرگترین سلول آوند چوب و ضخامت کلانشیم دمبرگ.....۵۵

نمودارها

نمودار ۳-۱- محتوای فنول کل..... ۲۷

نمودار ۳-۲- محتوای فلاونوئید کل..... ۳۰

نمودار ۳-۳- درصد جمع‌آوری رادیکال DPPH..... ۳۲

نمودار ۳-٤- رابطه‌ی بین محتوای فنولی و درصد جمع‌آوری رادیکال DPPH..... ۳۳

نمودار۳-۵- درصد جمع‌آوری رادیکال هیدروژن پراکسید..... ۳۵

نمودار ۳-٦- رابطه‌ی بین محتوای فنولی و درصد جمع‌آوری رادیکال هیدروژن پراکسید..... ۳٦

نمودار ۳-۷- درصد جمع‌آوری رادیکال سوپراکسید..... ۳۸

نمودار ۳-۸- رابطه‌ی بین محتوای فنولی و درصد جمع‌آوری رادیکال سوپراکسید..... ۳۸

نمودار ۳-۹- درصد جمع‌آوری رادیکال نیتریک اکسید..... ٤۰

نمودار ۳-۱۰- رابطه‌ی بین محتوای فنولی و درصد جمع‌آوری رادیکال نیتریک اکسید..... ٤۱

نمودار ۳-۱۱- قدرت احیا..... ٤۳

نمودار ۳-۱۲- رابطه‌ی بین محتوای فنولی و قدرت احیا..... ٤٤

نمودار ۳-۱۳- فعالیت مهار پراکسیداسیون چربی..... ٤٦

نمودار ۳-۱٤- رابطه‌ی بین محتوای فنولی و میزان مالون دی آلدهید..... ٤۷

نمودار ۱- منحنی استاندارد گالیک اسید برای تعیین غلظت فنول کل..... ٦۱

نمودار ۲- منحنی استاندارد کاتچین برای تعیین غلظت فلاونوئید کل..... ٦۱

چکیده

انگور (*Vitis vinifera* L.) به خانواده‌ی *Vitaceae* تعلق دارد. برگ‌های انگور سرشار از اسیدهای آلی، اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، پروسیانیدین، تانن، آنتوسیانیدین، لیپید، آنزیم‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها، قندهای احیاکننده و غیر احیاکننده می‌باشند. هدف از این تحقیق بررسی محتوای فنولی و فلاونوئیدی کل و همچنین فعالیت پاداکسایشی عصاره‌ی متانولی برگ-های ٤ رقم انگور ارومیه (قزل اوزوم، قرمز بیدانه، ریش بابا و تبرزه قرمز) بود. در بین ارقام مطالعه شده، رقم قرمز بیدانه دارای بیشترین (٠/٠١ ±١/٣٩ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم وزن تر) و رقم تبرزه قرمز دارای کمترین (٠/٠٣±٠/٤٣) محتوای فنولی بودند. بیشترین مقدار فلاونوئید در رقم ریش بابا (٠٠±٠/٥٩٣ میکروگرم بر ١٠٠ گرم وزن تر) و کمترین مقدار آن در رقم تبرزه قرمز(٠٠±٠/٤٢٠) مشاهده شد. بالاترین ظرفیت جمع‌آوری رادیکال DPPH در قرمز بیدانه (٠/١٠٤±٩٥/٩٥درصد) و کمترین ظرفیت جمع‌آوری در ریش بابا (٠/٥٥٣±٩٣/٢٣ درصد) دیده شد. از نظر جمع‌آوری رادیکال هیدروژن پراکسید رقم ریش بابا بیشترین (٠/٤٢±٦٦/٨٦ درصد) فعالیت و قرمز بیدانه کمترین (٥/٩±٣٤/١٣ درصد) فعالیت را نشان داد. بیشترین درصد جمع‌آوری رادیکال سوپراکسید در رقم ریش بابا (١٣/٠٢±٥٤/٣) و کمترین فعالیت در رقم تبرزه قرمز (١٩/٠٧±٢٤/٤٦) مشاهده شد. تبرزه قرمز کمترین (٨/٠٠±١٢/٦٤) درصد جمع‌آوری رادیکال نیتریک اکسید و قزل اوزوم بیشترین (٢/٠٧±٥٠/٧٥) فعالیت را در بین ٤ رقم دارا بودند. از نظر قدرت احیا رقم تبرزه قرمز بیشترین (٠/٠٧±٠/٨٨٢) و ریش بابا کمترین (٠/٠١±٠/٠٩٣) مقادیر را داشتند. ریش بابا دارای بیشترین فعالیت مهارکنندگی پراکسیداسیون چربی (٠/٧١±١١/١١ میکروگرم MDA بر گرم وزن تر) و تبرزه قرمز دارای کمترین (١/١±٢٦/٢٤) فعالیت بود. صفات آناتومیکی در برخی گونه‌های گیاهی از نظر رده‌بندی تاکسونومیکی مفید واقع می شوند. در برگ ارقام انگور مورد مطالعه تعداد لایه‌های پارانشیم نردبانی متفاوت بود. ارقام قزل اوزوم و ریش بابا دارای ٢ ردیف پارانشیم نردبانی و تبرزه قرمز و قرمز بیدانه دارای یک ردیف پارانشیم نردبانی بودند. تعداد لایه‌های پارانشیم اسفنجی در ارقام مختلف متفاوت بود. ضخامت برگ، ضخامت رگبرگ میانی و طول بزرگترین سلول اپیدرم برگ نیز در بین ٤ رقم آزمایش شده متفاوت بود. ضخامت دمبرگ و تعداد دستجات آوندی دمبرگ نیز در ارقام مختلف با هم تفاوت داشت.

کلمات کلیدی: آناتومیکی، انگور، ترکیبات فنولی، فعالیت پاداکسایشی

فصل اول

کلیات

۱-۱- مطالعات بیوشیمیایی

۱-۱-۱- رادیکال‌های آزاد و انواع آن

واکنش‌های اکسیداسیون یکی از بخش‌های اساسی دگرگوهرش[1] طبیعی است. چنان‌که می‌دانیم اکسیژن پذیرنده‌ی نهایی الکترون در سیستم انتقال الکترون است که ATP تولید می‌شود (۳۲). مشکلات ممکن است زمانی بوجود بیاید که جریان الکترون و تولید انرژی جفت نباشند. به طوری که رادیکال‌های آزاد اکسیژن که گونه‌های واکنش گر اکسیژن[2] (ROS) نامیده می‌شوند تولید شوند (۸۵).

ROSها به طور پیوسته در سیستم‌های بیولوژیکی توسط سیستم انتقال الکترون میتوکندری و نیکوتین‌آمیدآدنین‌دی‌نوکلوئتید فسفات (NADP) اکسیداز تولید می‌شوند (۱۱۵). بعلاوه ROSها می‌توانند در طی دگرگوهرش درون سلولی از ترکیبات خارجی، سم‌ها و داروها توسط سیتوکروم P450، مونواکسیژنازها یا به دلیل قرار گرفتن در معرض فاکتورهای محیطی مثل مقدار زیاد نمک آهن یا اشعه UV تولید شوند (۵۹). منبع دیگر ROSها ماکروفاژها و نوتروفیل‌ها هستند که حاوی آنزیم-هایی مثل کمپلکس NADPاکسیداز می‌باشند که قادر هستند رادیکال‌های سوپر اکسید و هیدروژن پراکسید را تولید کنند (۱۰۳). ROSها که در موجودات زنده در طی دگرگوهرش تولید شده است شامل آنیون سوپر اکسید (O_2^-)، رادیکال هیدروکسیل (OH)، پر اکسید هیدروژن (H_2O_2) و نیتریک اکسید (NO) می‌باشد (۲۶).

۱-۱-۲- سازوکارهای مقابله با رادیکال‌های آزاد

دو سازوکار برای مقابله با رادیکال‌های آزاد وجود دارد: سازوکاری با منشا درونی که شامل مدافعین پاد اکساینده آنزیمی و غیر آنزیمی است که در بدن تولید می‌شوند و دیگری که به وسیله‌ی مواد غذایی فراهم می‌شود و سازوکاری با منشا بیرونی نام دارد.

1-Metabolism 2-Reactive Oxygen Species

۱-۱-۲-۱- سازوکار با منشا درونی

چندین آنزیم پاداکساینده وجود دارند که ROSها را به ترکیباتی با زیان کمتر تبدیل می‌کنند. برای مثال سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) ، کاتالاز، تیوردوکسین ردوکتاز، پراکسیدردوکسین و گلوتاتیون پراکسیداز (GP) (۵۲). مجموعا این آنزیم‌ها اولین خط دفاعی را بر علیه سوپر اکسید و پراکسید هیدروژن فراهم می‌کنند. آن‌ها در متوقف کردن آسیب حدواسط‌های ROS به ماکرومولکول‌های زیستی خیلی مهم هستند، اما نمی‌توانند صددرصد موثر باشند به این دلیل که برخی از ترکیبات تولید شده توسط واکنش متقابل ROSها با ماکرومولکول‌ها واکنش پذیری بالایی دارند. بنابراین سم زدایی این محصولات ثانویه به منظور جلوگیری از صدمات درون سلولی بیشتر، تخریب ترکیبات سلولی و حتی مرگ سلول لازم می‌باشد. این دومین خط دفاعی بر علیه ROSها است که به وسیله‌ی آنزیم‌هایی مثل GP، گلوتاتیون-S-ترانسفراز (GST)، آلدو-کتوردوکتاز و آلدهید دهیدروژناز انجام می‌شود (۷۱).

۱-۱-۲-۲- سازوکار با منشا بیرونی

ترکیبات زیادی در گیاهان و سبزیجات توانایی واکنش با رادیکال‌های آزاد بدون تولید رادیکال‌های بیشتر را دارند. بنابراین واکنش‌های زنجیره‌ای را فرو می‌نشانند. سایر ترکیباتی که ROSها را به مقدار زیاد پاکسازی می‌کنند، اکسید می‌شوند و لازم است که برای استفاده‌ی بیشتر دوباره تولید شوند. ترکیبات پاداکساینده به طور مستقیم با رادیکال‌های القا کننده‌ی تنش اکسیداتیو واکنش می‌دهند و اثر حفاظتی خود را بر علیه آسیب‌های سلولی اعمال می‌کنند (۴۵).

مهمترین پاد اکساینده‌های سبزیجات ویتامین C و E، کاروتنوئیدها، ترکیبات فنولی و مخصوصا فلاونوئیدها است. این پاد اکساینده‌ها رادیکال‌ها را پاکسازی می‌کنند و شروع واکنش‌های زنجیره‌ای را متوقف می‌کنند یا تکثیر واکنش‌های زنجیره‌ای را می‌شکنند. ویتامین E و کاروتنوئیدها همچنین به عنوان اولین خط دفاعی علیه تنش اکسیداتیو مشارکت می‌کنند. به این دلیل که آن‌ها اکسیژن منفرد را دفع و خنثی می‌کنند (۷۰). ویتامین C شامل اسید آسکوربیک و محصولات اکسید شده‌ی آن- دهیدرواسید آسکوربیک- است که فعالیت‌های بیولوژیکی زیادی در بدن انسان دارد (۱۹).

مشخص شده است که ویتامین C می‌تواند سطوح پروتئین واکنشی[1] C (CRP) (یک نشانگر التهاب و شاید یک پیش بینی کننده بیماری قلبی) را کاهش دهد. بیشتر از ۸۵ درصد ویتامین C در رژیم غذایی انسان به وسیله‌ی میوه و سبزیجات فراهم می‌شود (۷۳).

۱-۱-۳- پاداکساینده‌های طبیعی و مصنوعی

اساسا مشتقات ROSها به طور پیوسته داخل بدن انسان تولید می‌شوند. ROSهای تولید شده به وسیله‌ی پاداکساینده‌های حاضر در بدن سم‌زدایی می‌شوند. با وجود این تولید بیش از حد ROSها و یا دفاع ناکافی پاداکساینده‌ها به آسانی می‌تواند موثر واقع شود و موجب تخریب اکسیداتیو مولکول‌های زیستی مختلفی شامل پروتئین‌ها، لیپیدها، لیپوپروتئین‌ها و DNA شود (٤٢).

این تخریب اکسیداتیو عامل مهم تاثیرگذاری است که باعث چندین بیماری مزمن انسانی مثل دیابت شیرین، سرطان، آرترواسکلروزیس، آرتریت، بیماری‌های تخریب کننده‌ی عصبی و همچنین فرآیندهای پیری می‌شود. از طرف دیگر ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها به طور وسیعی در گیاهان توزیع شده‌اند که گزارش شده که چندین اثر بیولوژیکی شامل پاداکسایندگی، توانایی جاروب کنندگی رادیکال‌های آزاد، ضد فساد و ضد سرطان را نشان می‌دهند (۸۱).

به طوری که عصاره‌های خالص و سرشاخه‌ها و برگ‌های گیاهان، ادویه‌ها و دیگر مواد گیاهی غنی از فنول‌ها هستند که در صنایع غذایی به دلیل اینکه زمان تخریب لیپیدها را به تاخیر می‌اندازند و ارزش غذایی را بهبود می‌بخشند مورد توجه قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر فلاونوئیدها یک گروه از ترکیبات پلی‌فنولیک با خصوصیات شناخته شده شامل جاروب کنندگی رادیکال آزاد، متوقف کننده آنزیم‌های هیدرولیز و اکسید کننده و فعالیت ضد فاسد شدگی و تخریب می‌باشند (٤٣).

برای جاروب کردن ROS ها سلول چندین آنزیم پاداکساینده شامل کاتالاز (CAT)، گلوتاتیون پراکسیداز (GP)، سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و گلوتاتیون-S-ترانسفراز (GST) دارد.

1- C-reactive protein

مصرف غذاهای حاوی مقدار قابل توجهی اسیدهای چرب اشباع نشده اهمیت و استفاده از پاداکسایندهها رابرای جلوگیری از اکسیداسیون افزایش داده است. استفاده از پاداکسایندههای مصنوعی مثل هیدروکسی آنیزول بوتیله شده (BHA) و هیدروکسی تولئن بوتیله شده (BHT) در غذاها به دلیل مشکوک به سرطانزا بودن آنها محدود شده است (۷۵).

بنابراین تحقیق برای پاداکسایندههای طبیعی خصوصا با منشا گیاهی در سال های اخیر افزایش یافته است (٦٣). همچنین گونههای زیاد دیگری برای جستجوی پاداکسایندههای جدید مورد بررسی قرار گرفتهاند (۲۹).

۱-۱-٤- ترکیبات فنولی در گیاهان

ترکیبات فنولی دگرگوهرههای[1] ثانویهای هستند که مشتقات مسیرهای پنتوز فسفات، شیکیمات و فنیل پروپانوئید در گیاهان میباشند (۱۰۰). از نظر ساختمانی ترکیبات فنولی از یک حلقه آروماتیک که حامل یک یا تعداد بیشتری زیر واحدهای هیدروکسیل میباشد تشکیل میشوند و از مولکولهای فنولی ساده تا ترکیبات بسیار پلیمریزه شده را در بر میگیرند (۲۳). اغلب به طور طبیعی بیشتر ترکیبات فنولی در اتصال با مونو و پلیساکاریدها (به یک یا تعداد بیشتری از گروههای فنولی متصل میشوند) هستند. همچنین ممکن است به عنوان مشتقات عملکردی مثل استرها و متیلاسترها وجود داشته باشند. به هر حال آنچنان تنوع ساختاری طیف وسیعی از ترکیبات فنولی را نتیجه میدهد که در طبیعت وجود دارند. ترکیبات فنولی به چندین رده تقسیم میشوند که در جدول ۱-۱ نشان داده شدهاست (۵۰). در این بین اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها و تانن‌ها به عنوان ترکیبات فنولی اصلی در رژیم غذایی مورد توجه قرار گرفتهاند (٦٩).

۱-۱-٤-۱- اسیدهای فنولیک

اسیدهای فنولیک شامل دو زیر گروه میباشند: هیدروکسی بنزوئیک و هیدروکسی سینامیک اسیدها

هیدروکسی بنزوئیک اسیدها شامل گالیک، پارا هیدروکسی بنزوئیک، پرتوکاتچوئیک، وانیلیک و سینرجیک اسیدها است که ساختار عمومی آنها به صورت C_6-C_1 میباشد (۲۳).

1-Metabolites

هیدروکسی سینامیک اسیدها از طرف دیگر ترکیبات آروماتیکی با یک ساختار سه کربنه کنار زنجیر C_6-C_3 هستند و اغلب شامل کافئیک، فرولیک، پاراکوماریک و سیناپیک اسیدها می‌باشند (۲۳).

۱-۱-٤-۲- فلاونوئیدها

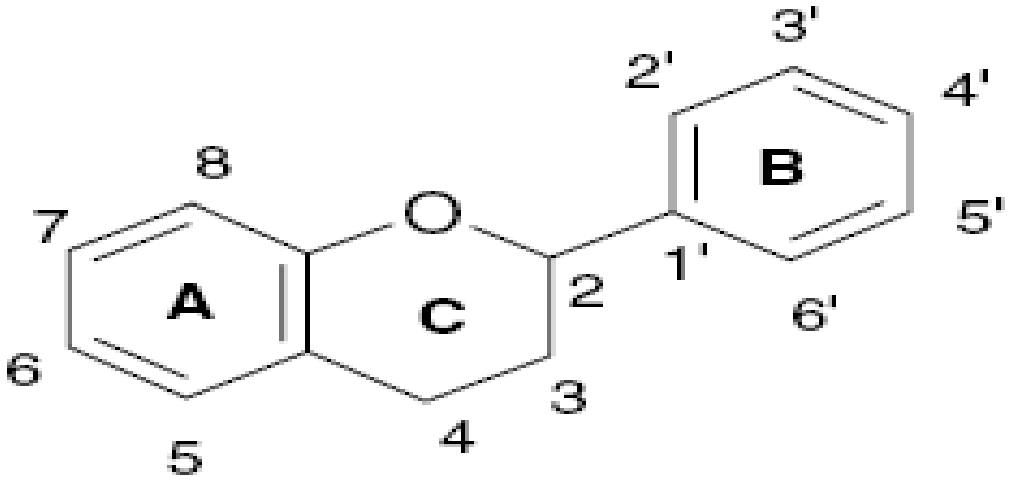
فلاونوئید ها یک گروه از ترکیبات پلی‌فنولیک هستند، دگرگوهره‌های ثانویه‌ای می‌باشند که به طور وسیعی در سلسله گیاهی با تنوع زیادی در ساختار توزیع شده‌اند. جز اصلی رژیم غذایی انسان‌اند. فلاونوئیدها بزرگترین گروه فنول‌های گیاهی را تشکیل می‌دهند و تقریبا بیش از نصف ۸۰۰۰ ترکیب فنولی موجود را تشکیل می‌دهند (۵۱).

جدول۱-۱- مهم‌ترین رده‌های ترکیبات فنولی در گیاهان (۵۰)

Classes of phenolic compounds in plants

Class	Structure
Simple phenolics, benzoquinones	C_6
Hydroxybenzoic acids	C_6–C_1
Acethophenones, phenylacetic acids	C_6–C_2
Hydroxycinnamic acids, phenylpropanoids (coumarins, isocoumarins, chromones, chromenes)	C_6–C_3
Napthoquinones	C_6–C_4
Xanthones	C_6–C_1–C_6
Stilbenes, anthraquinones	C_6–C_2–C_6
Flavonoids, isoflavonoids	C_6–C_3–C_6
Lignans, neolignans	$(C_6$–$C_3)_2$
Biflavonoids	$(C_6$–C_3–$C_6)_2$
Lignins	$(C_6$–$C_3)_n$
Condensed tannins (proanthocyanidins or flavolans)	$(C_6$–C_3–$C_6)_n$

فلاونوئیدها ترکیباتی با وزن مولکولی کم هستند و شامل ۱۵ اتم کربن می‌باشند که به صورت C_6-C_3-C_6 آرایش یافته‌اند. ساختار فلاونوئیدها به طور اساسی شامل دو حلقه آروماتیک A و B است که به وسیله‌ی یک پل سه کربنه معمولا در شکل یک حلقه‌ی هتروسیکلیک C متصل می‌شوند (شکل۱-۱). حلقه‌ی آروماتیک A از مسیر استات/مالونات مشتق شده است در حالی که حلقه‌ی B از فنیل‌آلانین از طریق مسیر شیکیمات مشتق شده است (۷۹). تنوع در الگوی جانشینی حلقه‌ی C باعث ایجاد رده‌های اصلی فلاونوئیدها می‌شود (٥٤). فلاونوئیدها شامل فلاون‌ها، ایزوفلاون‌ها، فلاونون‌ها، آنتوسیانین‌ها و کاتچین‌ها ظرفیت پاداکسایشی بسیار قوی دارند (١١٦). فلاون‌ها و فلاونول‌ها به مقدار بیشتری وجود دارند و از لحاظ ساختاری متنوع‌تراند (٥١). جانشینی‌ها برای حلقه‌های A و B باعث افزایش ترکیبات متنوع داخل هر رده از فلاونوئیدها می‌شود (٩٦). این جانشینی‌ها ممکن است شامل اکسیژن‌دارشدن، آلکیله‌شدن، گلیکوزیله‌شدن، آسیله‌شدن و سولفاته‌شدن باشد (٥٤).



شکل۱-۱- ساختار یک مولکول فلاونوئید (۷۹)

۱-۱-٤-۳- تانن‌ها

ترکیباتی با وزن مولکولی نسبتا سنگین هستند. سومین گروه مهم ترکیبات فنولی را تشکیل می‌دهند و ممکن است به دو گروه تانن‌های قابل هیدرولیز و فشرده تقسیم شوند. اولین گروه استرهای گالیک اسید است (گالو- و آلاژی- تانن‌ها) در حالی که گروه دوم پلیمرهایی از مونومرهای پلی‌هیدروکسی فلاوان ۳-ال هستند. سومین زیر گروه فلوروتانن‌ها هستند که به طور کلی