بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه مازندران
دانشکده علوم پایه- گروه زیست شناسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد زیست شناسی علوم گیاهی
(سیستماتیک –اکولوژی)

موضوع:

بررسی تنوع ژنتیکی *Populus alba* و *Populus caspica* در مناطق غرب جنگل های هیرکانی ایران با استفاده از مارکر مولکولی *trnL-F*

اساتید راهنما:
دکتر آرمان محمودی اطاقوری
دکتر اباصلت حسین زاده کلاگر

دانشجو
مریم بادبر

شهریور/۱۳۹۱
بابلسر/ ایران

«من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق»

با تقدیر و تشکر شایسته از اساتید فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر اباصلت حسین زاده کلاگر و دکتر آرمان محمودی اطاقوری که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نمودند و همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده اند.

همچنین از پدر و مادر دلسوز و مهربانم و همسر عزیزم که آرامش روحی و آسایش فکری را فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم سپاسگزاری می نمایم.

با تقدیر و تشکر از

مدیریت محترم گروه زیست شناسی و سلولی، جناب آقای دکتر نقی نژاد و آقای دکتر محسنی

دکتر حامد یوسف زاده به خاطر زحمات بی دریغ شان
خانم امینی و دکتر زارع، مسوول باغ گیاهشناسی نوشهر
مسوولین مرکز تحقیقاتی صنوبر صفرابسته
با سپاس فراوان از دوستان عزیزم خانم ها مریم زارعی، مریم قلی نژاد به خاطر کمک های بی دریغ شان

چکیده

سفیدپلت، بومی جنگل های هیرکانی شمال ایران است، که شباهت ریختی بسیاری با سپیدار دارد. هدف این تحقیق بررسی تنوع ژنتیکی *Populus alba* و *Populus caspica* در مناطق غرب جنگل های هیرکانی با استفاده از نشانگر مولکولی *trnL-F* است. برای این منظور ۱۲ نمونه برگی شامل ۱۰ نمونه سفیدپلت و ۲ نمونه سپیدار از ۵ رویشگاه مختلف جمع آوری شدند. DNAی ژنومی از برگ نمونه ها با استفاده از CTAB و SDS- پتاسیم استات استخراج گردید. محصولات PCR-*Pfu*ی از قطعه *trnL-F* تکثیر شده توالی یابی شدند. نتایج نشان داد که تعداد نوکلئوتید های منطقه *trnL-F* تقریبا برای جمعیت های هر دو گونه در حدود ۳۹۲ الی ۳۹۴ نوکلئوتید بود. در بررسی حضور انواع نوکلئوتیدها، مقدار نوکلئوتید آدنین در سفیدپلت و سپیدار بیش تر و در نمونه های بانک ژن، نوکلئوتید تیمین بیش تر در ترکیب نوکلئوتیدی آن ها مشاهده گردید که تا حدی نشان دهنده تشابه حضور نوکلئوتیدی سفیدپلت و سپیدار است. پس از ردیف سازی توالی های هر دو گونه، ترسیم درخت فیلوژنی بر اساس نشانگر *trnL-F* انجام گرفت، نتایج نشان داد اگر چه این دو گونه با داشتن تفاوت های کم مورفولوژیکی دارای تفاوت کمی نیز در منطقه غیر کد کننده کلروپلاستی *trnL-F* شان هستند ولی این نشانگر کلروپلاستی تفاوت قابل ملاحظه ای را بر اساس مقادیر و درصد حضور نوکلئوتیدها و میزان جهش های منطقه *trnL-F* در میان این دو گونه نشان نمی دهد. در این مطالعه تک نیایی بودن سفیدپلت و سپیدار معین گردید و هم چنین مشخص شد که صنوبر بومی جنگل های هیرکانی، سفیدپلت، به بخش پوپولوس متعلق بوده و از میان گونه های موجود در این بخش، این گونه بیشترین قرابت ژنتیکی را با سپیدار دارد. اما در بین نمونه های مورد بررسی، دو نمونه SC1 و RH2، با قرار گرفتن در گروهی مجزا، دارای الگوی نوکلئوتیدی متفاوت تر و فاصله ژنتیکی بیش تری با گونه سپیدار و سایر سفید پلت ها بودند، که این امر می تواند در نتیجه هیبریداسیون وسیع و درون گونه ای بین صنوبرها باشد که به عنوان یکی از عوامل مهم و مشکل آفرین در شناسایی دقیق بین صنوبرها مطرح می باشد. از این رو به منظور تفکیک تاکسونومیکی بین این دو گونه انجام مطالعات بیش تر با نشانگر های هسته ای و یا کلروپلاستی پیشنهاد می گردد.

واژه های کلیدی: تنوع ژنتیکی، نشانگر مولکولی *trnL-F*، سفیدپلت، سپیدار.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
خلاصه فارسی	ا
فهرست مطالب	ب
فهرست شکل ها	ه
فهرست جدول ها	و
فهرست علایم و اختصارات	ز
فصل اول: مقدمه	۲
فصل دوم: تئوری	۷
۲-۱- رده بندی جنس صنوبر	۷
۲-۲- پراکنش جغرافیایی صنوبر	۱۰
۲-۳- شرایط اکولوژیک رشد صنوبر	۱۰
۲-۳-۱- اهمیت اکولوژیک و اقتصادی درختان صنوبر	۱۱
۲-۴- رشد صنوبر و رقابت بین درختان جنگلی	۱۱
۲-۵- تولید مثل صنوبر	۱۲
۲-۵-۱- شرایط وراثتی صنوبر	۱۳
۲-۶- تاریخ تکاملی و صنوبر	۱۳
۲-۷- موارد مصرف صنوبر	۱۳
۲-۷-۱- صنوبر مدلی مناسب برای بررسی زیستی سایر درختان جنگلی	۱۴
۲-۷- ۲- دلایل ارزشمند بودن صنوبر	۱۵
۲-۸- سفیدپلت	۱۶
۲-۸-۱- مورفولوژی سفیدپلت	۱۷
۲-۸-۲- پراکنش و شرایط اکولوژیکی سفیدپلت	۱۷
۲-۹- سپیدار	۱۸
۲-۹-۱- مورفولوژی سپیدار	۱۸
۲-۹-۲- پراکنش و شرایط اکولوژیکی سپیدار	۲۰
۲-۱۰- فیلوژنی	۲۱
۲-۱۱- روش های شناسایی گیاهان	۲۲
۲-۱۱-۱- نشانگرهای ریخت شناسی و آناتومیک	۲۲

فهرست مطالب

۲- ۱۱-۲- نشانگرهای مولکولی	۲۳
۲-۱۲- ساختار ژنوم کلروپلاستی (cpDNA)	۲۴
۲-۱۲-۱- مناطق غیر کد کننده DNA کلروپلاستی	۲۵
۲-۱۲-۲- بررسی پتانسیل اطلاعاتی PIC لوکوس های کلروپلاستی	۲۷
۲-۱۲-۳- معرفی نشانگر *trnL-F*	۳۰
۲-۱۴- مزایای استفاده از cpDNA	۳۳
۲-۱۵- معایب استفاده از cpDNA	۳۴
۲-۱۶- نشانگرDNAی کلروپلاستی (cpDNA) و مطالعه های فیلوژنی	۳۵
۲-۱۷- مطالعه های انجام شده با نشانگر *trnL-F*	۳۵
۲-۱۸- مطالعه های انجام شده با نشانگر های مولکولی بر روی صنوبر	۳۹
فصل سوم: مواد و روش ها	۴۶
۳-۱- مواد، وسایل و نمونه	۴۶
۳-۱-۱- مواد	۴۶
۳-۱-۲- وسایل	۴۷
۳-۱-۳- تهیه نمونه	۴۷
۳-۲- محلول ها و بافرهای لازم برای مطالعات مولکولی در سطح DNA	۴۹
۳-۲-۱- محلول CTAB ۱۰٪	۴۹
۳-۲-۲- محلول تریس ۱M	۴۹
۳-۲-۳- محلول SDS ۱۰٪	۵۰
۳-۲-۴- محلول EDTA ۰/۵ M	۵۰
۳-۲-۵- محلول فنل آبدهی شده	۵۰
۳-۲-۶- محلول فنل-کلروفرم-ایزو آمیل الکل	۵۱
۳-۲-۷- بافر استخراج	۵۱
۳-۲-۸- بافر TE	۵۱
۳-۲-۹- بافر TBE	۵۱
۳-۲-۱۰ بافر نمونه DNA	۵۱
۳-۳- استخراج DNA ژنومی	۵۲
۳-۴- بررسی کیفیت DNA	۵۳
۳-۵- بررسی کمیت DNA	۵۴
۳-۶- طراحی پرایمر	۵۵
۳-۶-۱- طراحی پرایمر برای مطالعه *trnL-F*	۵۵
۳-۷- واکنش زنجیره ای پلی مراز	۵۶
۱- واسرشته شدن ابتدایی قطعات DNA	۵۶
۲- مرحله واسرشتگی	۵۷

فهرست مطالب

۳- مرحله اتصال پرایمرها ۵۷
۴- مرحله طویل شدن پرایمرها ۵۷
۵- مرحله طویل شدن نهایی ۵۹
۳-۷-۱- مواد لازم جهت انجام PCR ۵۹
۳-۷-۲- برنامه PCR اختصاصی جهت تکثیر قطعه *trnL-F* ۶۱
۳-۸- الکتروفورز ژل آگارز افقی ۶۲
۳-۸-۱-محلول ها و بافرهای مورد نیاز برای الکتروفورز ۶۴
۳-۸-۲- محلول آگارز ,w/v ٪۱ ۶۴
۳-۸-۳- محلول اتیدیوم بروماید ,mg/ml ۱۰ ۶۴
۳-۸-۴- محلول برموفنل بلو w/v ٪ ۰/۴ ۶۴
۳-۹- توالی یابی ۶۴
۳-۱۰- استریل نمودن ۶۵
۳-۱۱- آنالیز آماری داده ها ۶۵
۳-۱۱-۱- تجزیه و تحلیل نتایج مولکولی ۶۵
۳-۱۱-۲ نرم افزارها ۶۶
فصل چهارم: نتایج و بحث ۶۸
۴-۱- تنوع فیلوژنتیکی جنس سفیدپلت و سپیدار با استفاده از نشانگر *trnL-F* ۶۸
۴-۱-۱- تکثیر قطعه *trnL-F* با استفاده از PCR و تایید آن ۶۸
۴-۱-۲- توالی یابی ۶۹
۴-۱-۳- مشخصات قطعات *trnL-F* در صنوبر با استفاده از آنالیز تعیین توالی ۷۰
۴-۱-۴- نتایج ترکیب و درصد نوکلئوتیدها تشکیل دهنده قطعه *trnL-F* ۷۱
۴-۱-۵- نتایج تخمین الگوی جابجایی وجهش های نوکلئوتیدی فاصله ژنتیکی نمونه ها ۷۲
۴-۱-۶- ترسیم درخت فیلوژنی منطقه *trnL-F* ۷۵
۴-۲- بررسی تنوع ژنتیکی سفیدپلت و سپیدار با نشانگر *trnL-F* ۷۸
۴-۳- نتیجه گیری نهایی ۷۹
۴-۴- پیشنهاداتی برای کارهای آتی ۸۰
پیوست ۱ ۸۱
فصل پنجم: مراجع ۸۶
خلاصه انگلیسی ۹۲

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱) مورفولوژی سفید پلت و سپیدار	۱۹
شکل ۲-۲) نقشه پراکنش سپیدار در دنیا	۲۰
شکل ۲-۳) درخت فیلوژنی گیاهان	۲۲
شکل ۲-۴) دیاگرام نشانگرهای مولکولی مورد استفاده در مطالعه های سیستماتیک	۲۴
شکل ۲-۵) موقعیت بخش های کد کننده و غیر کد کننده در cpDNA	۲۵
شکل ۲-۶) پتانسیل اطلاعاتی لوکوس های کلروپلاستی	۲۷
شکل ۲-۷) میانگین مقادیر PIC ترکیب شدن چند لوکوس با هم	۲۹
شکل ۲-۸) موقعیت منطقه *trnS-F* و پرایمرهای آن	۳۱
شکل ۳-۱) موقعیت مکانی رویشگاه‌های تحت مطالعه سفید پلت	۴۹
شکل ۳-۲) نمایش سیکل های تکراری واکنش PCR	۵۸
شکل ۴-۱) فاصله بین ژنی *trnL-F* ژنوم پلاستیدی و موقعیت پرایمرهای آن	۶۹
شکل ۴-۲) قطعات تکثیرشده *trnL-F* سپیدار و سفید پلت در ژل آگارز	۶۹
شکل ۴-۳) Electropherogarm توالی قطعه *trnL-F*	۷۰
شکل ۴-۴) درخت فیلوژنی سفیدپلت و سپیدار به روش ماکزیمم پارسیمونی	۷۵
شکل ۴-۵) درخت فیلوژنی سفیدپلت و سپیدار به روش استرایت کانسنسوس	۷۷

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱) مقایسه سیستم رده بندی کرونکوئیست و APG جنس صنوبر	۸
جدول ۲-۲) بخش های صنوبر و رویشگاه های آن ها	۹
جدول ۲-۳) توالی شش پرایمرهای طراحی شد برای منطقه *trnT-F*	۳۱
جدول ۳-۱) لیست برخی از مواد شیمیایی و آنزیم های مورد استفاده	۴۶
جدول۳-۲) لیست برخی دستگاه های مورد استفاده	۴۷
جدول ۳-۳) محل های جمع آوری گروه های مورد مطالعه سفیدپلت و سپیدار	۴۸
جدول ۳-۴) پرایمرهای مورد استفاده جهت تکثیر قطعه *trnL-F*	۵۶
جدول ۳-۵) غلظت و حجم های استاندارد مورد استفاده واکنش گرهای اختصاصی PCR	۶۰
جدول ۳-۶) شرایط PCR و برخی از ویژگی های مهم دو آنزیم *Taq* و *Pfu*	۶۰
جدول ۴-۱) ترکیب و درصد نوکلئوتید های تشکیل دهنده قطعه *trnL-F* در صنوبر ها	۷۱
جدول ۴-۲) تخمین الگوی جابجایی نوکلئوتید در کل قطعه *trnL-F*	۷۲
جدول ۴-۳) تغییرات نوکلئوتید های منطقه *trnL- F*	۷۳
جدول ۴-۴) حداقل و حداکثر فاصله ژنتیکی گونه های مطالعه شده و گونه های بانک ژن	۷۴

فهرست علایم و اختصارات

اصطلاح فارسی	اصطلاح انگلیسی	علامت اختصاری
مگا جفت باز	(Mega base pair)	**Mbp**
کیلو جفت باز	(Kilo base pair)	**Kbp**
جفت باز	(base pair)	**bp**
میلی مولار	(mili Molar)	**mM**
میکروگرم در میلی لیتر	(microgram per milliliter)	**µg/ml**
جذب نوری	(Optical Density)	**OD**

مقدمه

موقعیت ویژه جغرافیایی شمال ایران و مصون ماندن آن از یخبندان های دوران چهارم زمین شناسی، سبب شکل گیری یکی از شاخص ترین جنگل های خزان کننده پهن برگ با غنای گونه ای بالا، اختصاصی[1] و با قدمت طولانی در نیمکره شمالی گردیده است. جنگل های هیرکانی با بیش از ۱۳۰ گونه درختی و درختچه ای در طول رشته کوه های البرز قرار دارند که هم چون نواری سبز، سواحل جنوبی دریای خزر را از آستارا تا گرگان در شمال ایران می پوشاند [۳]. این منطقه رویشی ۱۵ درصد از جنگل های ایران و ۱/۱ درصد از سطح کل کشور را به خود اختصاص داده است [۵]. این جنگل ها توپولوژی نابرابر و شیب های بسیار تندی دارند و اغلب در مناطق بسیار شیب دار با بیشتر از ۱۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و پوششی از برف در فصل زمستان واقع شده اند [٤٧، ٤٦].

[1] Endemic

مناطقی با شیب های بیشتر از ۱۰۰٪ به عنوان مناطق حفاظت شده مـی باشـند کـه اعمـال جمـع آوری در آن ها ممنوع شده اند [٤٦]. این جنگل ها از بارندگی خوبی برخوردارند. میزان بارندگی معمولا از سـمت غـرب به شرق کاهش می یابد. حداکثر بارندگی در حوالی رشت و انزلی در حدود ۲۰۰۰ میلی متـر در سـال و حـداقل آن در حوالی گرگان در حدود ۷۰۰ میلی متر در سال می باشـد [۱۲]. ایـن منـاطق جایگـاه انحصـاری برخـی از فسیل های زنده از گونه های پوپولوس کاسپیکا[۲]، گلدیتشیا کاسپیکا[۳]، پاروتیا پرسیکا[٤]، پتروکاریا فراکسینی فولیـا[٥]، و نمونه های غالب از فاگوس اورینتالیس[٦]، کورکوس کاستنی فولیا[۷] و آلنوس گلوتینوزا[۸] می باشند [۵۳].

از جمله عناصر گیاهی موجود در جنگل های هیرکانی پوپولوس کاسپیکا (سفید پلت)، آلنوس گلوتینـوزا[۹] (توسکای قشلاقی)، سلتیس استرالیس[۱۰] (داغداغان)، بوکسوس هیرکانا[۱۱] (شمشاد هیرکانی)، پتروکاریـا فراکزینـی فولیا[۱۲] (لرگ)، گلدیتشیا کاسپیکا[۱۳] (لیلکی)، آلبیزیا جولیبریسین[۱٤] (شب خسب)، کوئرکوس پترا[۱٥] (سـفید مـازو)، فیکوس کاریکا[۱٦] (انجیر)، پونیکا گراناتوم[۱۷] (انـار)، پاروتیـا پرسـیکا[۱۸] (انجیلـی)، کـارپینوس بتولـوس[۱۹] (ممـرز)، تاکسوس باکاتا[۲۰] (سرخدار)، فـاگوس اورینتـالیس (راش)، اسـر ولوتینـوم[۲۱] (افـرا پلـت)، کوئرکـوس مـاکرانترا[۲۲]

[2] *Populus caspica* Bornm
[3] *Gleditsia caspica* Desf.
[4] *Parrotia persica* C.A.Mey.
[5] *Pterocaria fraxinifolia* (Lam.) Spach
[6] *Fagus orientalis* Lipsky
[7] *Quercus castanifolia* C.A.Mey.
[8] *Alnus glotinosa* L.
[9] *Alnus glutinosa* L.
[10] *Celtis australis* L.
[11] *Buxus hyrcana*
[12] *Pterocarya fraxinifolia* (Lam.) Spach
[13] *Gleditsia caspica* Desf.
[14] *Albizzia julibrissin* Durazz.
[15] *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl
[16] *Ficus carica* L.
[17] *Punica granatum* L.
[18] *Parrotia persica* C.A.Mey.
[19] *Carpinus betulus* L.
[20] *Taxus baccata* L.

(اوری)، کارپینوس اورینتالیس[۲۳] (لور)، گونه های الکمیلا[۲۴]، کامپانولا استوینیئی[۲۵] (گل استکانی)، فستوکا اوینا[۲۶]، رانانکولوس[۲۷] (الاله) را می توان نام برد [۱۲].

از مهمترین جوامع جنگلی در شیب های شمالی البرز می توان جوامع زیر را نام برد:

۱- از ۲۰ تا ۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا جامعه کوئرکو بوکستوم[۲۸] یا جامعه بلوط- شمشاد

۲- از ۵۰ تا ٤۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا جامعه کوئرکو- کارپینتوم[۲۹] یا جامعه بلند مازو- ممرز

۳- از ٤۰۰ تا ۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا جامعه پاروتیو- کارپینتوم[۳۰] یا جامعه انجیلی- ممرز

٤- از ۱۰۰۰ تا ۲۳۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا جامعه فاگتوم هیرکانوم[۳۱] یا جامعه راش- راشستان. این جامعه یکی از غنی ترین و ارزشمندترین جوامع جنگلی هیرکانی به شمار می رود و گونه اصلی آن فاگوس اورینتالیس است.

۵- از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا جامعه کارپینتوم اورینتالیس یا جامعه لور دیده می شود که گونه اصلی آن کارپینوس اورینتالیس می باشد البته جوامع گیاهی دیگری نیز وجود دارد [۱۲].

از میان درختان بومی موجود درجنگل هیرکانی سفیدپلت از خانواده بید[۳۲] می باشد که این گونه صنوبر از لحاظ مورفولوژیکی شباهت بالایی با سپیدار[۳۳] داشته، به طوری که محققان را در شناسایی و مجزا ساختن این

---

[21] *Acer velutinum* Boiss .
[22] *Quercus macranthera* Fisch.
[23] *Carpinus orientalis* Mill.
[24] *Alchamilla spp*.
[25] *Festuca ovina* L.
[26] *Campanula stevenii*
[27] *Ranunculus spp*.
[28] *Querco buxetum*
[29] *Querco carpinetum*
[30] *Parrotia carpinetum*
[31] *Fagetum hyrcanum*
[32] Salicaceae
[33] *Populus alba L.*

دو گونه در تردید قرار می دهد. صنوبر ها معمولا نورپسند و نم پسند بوده که در زمین های آبدوست حاشیه رودخانه ها و در مناطقی با خاک آبرفتی مرطوب معمولا رشد می کنند. بیشتر تحقیق ها بر روی هیبریدهای درون گونه ای صنوبرها متمرکز می باشد، در میان درختان مختلف جنگلی که باد گرده افشان هستند، متداول ترین هیبریداسیون طبیعی در بین صنوبرها مشاهده می شود [٤١].

به منظور مطالعه و بررسی تنوع ژنتیکی گونه های گیاهی روش ها و نشانگر های مختلف مولکولی امروزه استفاده می شود که از جمله این نشانگر ها DNA کلروپلاستی می باشد که به شدت محافظت شده بوده و دستخوش تغییر نوترکیبی و جهش قرار نمی گیرد [٧٤] و معمولا میزان جانشینی نوکلوتیدی در ژنوم پلاستیدی اندک است از این رو کلروپلاست دارای ساختار ژنوم نسبتا ثابتی است و سطوح بیشتری از تنوع را برای آنالیز های فیلوژنتیکی فراهم می آورد [٧٤، ٥٦]. از جمله توالی های کلروپلاستی مورد استفاده گسترده در مطالعه های فیلوژنتیک، فاصله انداز درون ژنی *trnL-F* و اینترون *trnL* است که در سطوح درون گونه ای و در سطح جنس برای گیاهان مطرح می گردد [٧٩]. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از پرایمر های جهانی قطعه *trnL-F* که توسط تابرلت[34] و همکاران (١٩٩١) [٨٠] طراحی شده جهت بررسی تنوع ژنتیکی سفیدپلت از سپیدار استفاده گردد و قدرت این نشانگر در شناسایی و تفکیک این دو گونه مورد بررسی قرار گیرد.

[34] Taberlet

تئوری

۲-۱- رده بندی جنس صنوبر

در سیستم رده بندی APG [1]خانواده بید از راسته مال پیگیالز[2] می باشد که از دو جنس صنوبر و بید[3] تشکیل شده است ولی در سیستم رده بندی کرونکوئیست[4]، صنوبر در راسته سالیکالز قرار می گیرد [۷۷، ۹]. (جدول ۲-۱). تعداد گونه های صنوبر بین ۲۲ تا ۸۵ عدد به علاوه صدها هیبرید، واریته و کولتیوار توصیف می شود که این اختلاف در شناسایی بین گونه های صنوبر به خاطر وجود هیبرید بین آن ها و تشخیص سخت مرز بین این گونه ها می باشد اخیرا در برخی از منابع جنس صنوبر را متشکل از ۲۹ گونه و در ٦ بخش[5] (آباسو[6]، آیجریوس[7]، لوکوئیده[8]، پوپولوس، تاکاماهاکا[9]، تورونگا[10]) طبقه بندی می کنند [٤١] ولی در برخی منابع

[1] Angiosperm phylogeny website
[2] Malpighiales
[3] *Salix*
[4] Cronquist classification system
[5] Section
[6] *Abaso*
[7] *Aigerios*

جنس صنوبر به ۵ بخش (پوپولوس، آیجریوس، تاکاماهاکا، لوکوئیده، تورونگا) تقسیم بندی شده است [۸۳، ۸۲] (جدول ۲-۲)، معمولا به مجموعه گونه های صنوبر (کاتن وود[۱۱]، آسپن[۱۲]، پوپلارز[۱۳]) به صورت عامه پوپلارز نیز می گویند [۷۷].

جدول ۲-۱) مقایسه سیستم رده بندی کرونکوئیست و APG جنس صنوبر [۹۱، ۷۷].

سیستم رده بندی کرونکوئیست		
Kingdom	Plantae	Plants
Subkingdom	Tracheobionta	Vascular plants
Superdivision	Spermatophyta	Seed plants
Division	Magnoliophyta	Flowering plants
Class	Magnoliopsida	Dicotyledons
Subclass	Dilleniidae	
Order	Salicales	
Family	Salicaceae	Willow family
Genus	*Populus*	cottonwood
سیستم رده بندی APG		
Eukaryota	Viridiplantae	
	Streptophyta	
Streptophytina	Embryophyta	
	Tracheophyta	
Euphyllophyta	Spermatophyta	
	Magnoliophyta	
	eudicotyledons	
	Core eudicotyledons	
	Rosides	
	Fabidae	
	Malpighales	
	Salicaceae	
	Populus	

[8] *Leucoides*
[9] *Tacamahaca*
[10] *Turanga*
[11] *Cottonwood*
[12] *Aspen*
[13] *Poplars*

جدول ۲-۲) بخش های صنوبر و رویشگاه های آن ها [۸۲]. (* با توجه به مطالعات این تحقیق با استفاده از نشانگر *trnL-F*)

Section	Taxon	رویشگاه
Populus section *Populus* (*Leuce*) aspens and white poplar	*P.Tremula* (Common Aspen)	اروپا، آسیای شمالی
	P. tremuloides	اروپا، آسیای شمالی، آمریکای شمالی
	P.grandidentata - Bigtooth.	اروپا، آسیای شمالی، آمریکای شمال شرقی
	P.adenopoda	چین، آسیای شرقی
	P.sieboldii	ژاپن، اسیای شرقی
	P.alba - White Poplar	اروپای جنوبی، آسیای مرکزی
	*P. caspica**	ایران، (جنگل هیرکانی)
	P.× canescens (P. alba × P. tremula) - Grey Poplar	
Populus section *Aegiros* black poplars or cottonwoods	*P.nigra - Black Poplar.*	اروپا
	P. canadensis (P. nigra × P. deltoides) - Hybrid Black Poplar	
Populus section *Tacamahaca* balsam poplars Species Trichocarpa Cottonwood	*P. deltoides*	آمریکای شمال شرقی
	P. fremontii	آمریکای شمال غربی
	P. petrowskyana	روسیه، اروپا، آسیا
	P. angustifolia	آمریکای شمال مرکزی
	P. balsamifera	شمال آمریکای شمالی
	P. trichocarpa	آمریکای شمال غربی
	P. laurifolia	آسیای مرکزی
Populus section *Leucoides* necklace poplars or bigleaf poplars	*P. simonii*	شمال شرقی آسیا
	P. maximowiczii	شمال شرقی آسیا
	P. heterophylla	جنوب شرقی آمریکای شمالی
	P. lasiocarpa	چین، آسیای شرقی
	P. wilsonii	آسیای شرقی
Populus section *Turanga* subtropical poplars	*P. euphratica*	جنوب غربی آسیا
	P. ilicifolia	شرق آفریقا
	P. section Abaso	مکزیک، مناطق گرمسیری، نیمه گرمسیری،
	P. mexicana	مکزیک
Populus section *Abaso*	*P. mexicana*	مکزیک [۷۷]

۲-۲- پراکنش جغرافیایی صنوبر

صنوبر ها که از عمده ترین درختان جنگلی پرمصرف به خصوص در شمال آمریکا، اروپا به شمار می روند، از لحاظ اکولوژیکی، اقتصادی و تکاملی حائز اهمیت می باشند [۷۷]. صنوبر ها اصولا درختانی هستند که سرشت اکولوژیک بسیار متفاوتی داشته و در اقلیم های گرمسیری و سردسیری، معتدله، مرطوب و خشک از حاشیه دریاها تا مناطق جلگه ای گسترده شده اند اکثرا در نیمکره شمالی و اندکی از آن ها در نیمکره جنوبی پراکنده شده اند و تاکنون هیچ صنوبر بومی از آفریقای مرکزی و جنوبی گزارش نشده است [۳۰].

۲-۳- شرایط اکولوژیک رشد صنوبر

صنوبرها نقش اکولوژیکی مهمی را به عنوان پیشگامان جنگل های نیمکره شمالی و جنگل های حاشیه رودها ایفا می کنند [٤١]. صنوبرها معمولا نورپسند و رطوبت دوست بوده و در زمین های آبدوست حاشیه رودخانه ها و مناطق مرطوب رشد می نمایند [۲۷]. صنوبر ها برای رشد مطلوب نیاز به آب فراوانی دارند تا آن جا که گفته می شود برای افزایش یک گرم ماده خشک در طول فصل رشد (حدود ۱۵۰ روز)، یک لیتر آب مصرف می کنند از آن جا که میزان تنفس ریشه ای آن ها زیاد است خاک نباید دارای آب غرقابی ایستا و بافت سنگین باشد.

مناسب ترین خاک برای آن ها خاکی با بافت یکنواخت و ترکیب مناسبی از ذرات رس و سیلیس است که در کل نباید مقدار رس آن از ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر باشد و البته بعضی گونه ها مقدار بیشتری را تحمل می کنند [٦]. اکثر گونه های صنوبر درختی اند ولی برخی از گونه های آن ممکن است به خاطر شرایط محیطی خاص به صورت درختچه ای درآیند [٤١].

۲-۳-۱- اهمیت اکولوژیک و اقتصادی درختان صنوبر

احتیاج روز افزون به چوب و فرآورده های آن در سطح جهانی باعث شده است تا دیگر الگوهای قدیمی چوب در واحد سطح، جوابگوی نیاز روز افزون صنایع چوب نباشد. لذا توجه بیشتر به روش های مختلف افزایش در واحد سطح با استفاده از روش های گوناگون اصلاح نژاد، به گزینی، تلقیح مصنوعی، انتخاب گونه های سریع الرشد، کوتاه ماندن دوره های بهره برداری و گونه های سازگار با دوره های کوتاه مدت ضروری می باشد.

آن چه بدیهی است این است که روند صعودی تکنولوژی چوب، کیفیت بالا را با استفاده از پروسه های مختلف تولید به فراورده های چوبی اعطا می کند و از سوی دیگر با بالا رفتن مصرف چوب، کیفیت چوب روز به روز ارزش بیشتری می یابد. پس دور از باور نخواهد بود که در آینده ای نه چندان دور بی ارزش ترین چوب های امروزی دارای ارزش فراوانی گردند [٦].

۲-۴- رشد صنوبر و رقابت بین درختان جنگلی

همه گونه های صنوبر تک پایه، برگ ریز و (گاهی نیمه یا همیشه سبز) هستند، پایه نر تولید دانه گرده و پایه ماده تولید تخمک می کند. گل ها در پایه های مجزا رشد می کنند [۲۷]. صنوبر ها به خاطر باد گرده افشان بودن شان، پتانسیل زیادی از جریان ژنی بالا را نشان می دهند دانه های صنوبر تقریبا کوچک بوده و جنین آن ها در یک پوشش فیبری پنبه مانندی قرار گرفته است که امکان جا به جایی آن ها را به مسافت های دور با آب و باد فراهم می نماید [٤١].

از میان درختان معتدله دارای شاتون ماده، تنها صنوبر ها و بیدها هستند که دانـه هـای بـا پوشـش مـویی پنبه مانند بر روی بخشی از جفت در دیواره نازک کپسول آن ها دیده می شود [۳۰]، به خـاطر کوتـاه بـودن قـوه نامیه بذر، دانه های صنوبر پس از پراکنده شدن باید خود را به یک محیط نمدار با نور خورشـید کـم برسـانند تـا بتوانند زنده بمانند [٤١]. رقابت بین درختان جنگلی سبب می شود که امکـان جوانـه زنـی و رشـد ایـن درختـان کاهش می یابد. برای مثال میزان استقرار موفقیت آمیز جوانه آسپن ها در مناطق مرتفع از نیمکـره معتدلـه شـمالی در زمین هایی که در معرض حریق قرار گرفته اند به دلیل کاهش میزان رقابت ها، افزایش می یابد [۲۷].

۲-۵- تولید مثل صنوبر

به خاطر شرایط سخت جوانه زنی و رشد جوانه های صنوبر، تولید مثل جنسی در میان صنوبرها بیشـتر و متداول تر از تولید مثل رویشی (غیـر جنسـی) مـی باشـد، ایـن گونـه هـا قادرنـد بـه صـورت کلـونی از طریـق پاجوش ها[14]، گسترش یابند که یک روش مفید برای کشت صنوبرها محسـوب مـی شـود [۷۷]. همـه صـنوبرها تمایل شدیدی برای جوانه زدن از طریق پاجوش ها دارنـد [۲۷]. بـه عنـوان مثـال صـنوبرها در جـایی (مـثلا در زمین های سیلابی، یا زمین هایی با سطح آب بالا و یا حریق زده) که رقابـت بـا سـایر درختـان جنگلـی محـدود شده است می توانند تکثیر یافته و بیشه های بزرگی را تشکیل دهند. بنابراین یـک ژنوتیـپ از یـک سـاقه منفـرد تقریبا بین ۳۰۰- ۵۰ سال می تواند ثابـت و برقـرار باشـد. از ایـن رو آسـپن هـا در بخـش پوپولـوس بـا داشـتن ریشه هایی به شدت جوانه زا قادرند در پهنه جغرافیایی وسیعی گسترش یابند [٤١].

[14] Soboliferous