

# لاشبرگ گیاهی

تجزیه، تشکیل هوموس، ترسیب کربن

ویرایش سوم

تالیف

بیورن برگ

چارلز مک کلورتنی

ترجمه

دکتر محمد جعفری

هیأت علمی دانشگاه تهران

دکتر فرج الله ترنیان

هیأت علمی دانشگاه لرستان

مهندس شهلا قادری

دانشجوی دکتری علوم مرتع

مهندس وحیده عبدالهی

هیأت علمی مجتمع آموزش عالی سراوان

مهندس مرتضی صابری

هیأت علمی دانشگاه زابل



شماره مسلسل ۸۹۷۲

شماره انتشار ۳۷۹۵

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: برگ، بیورن، ۱۹۴۳-م. Berg, Bjorn
عنوان و نام پدیدآور	: لاشبرگ گیاهی: تجزیه، تشکیل هوموس، ترسیب کربن/ مؤلف [بیورن برگ]؛ ترجمه محمد جعفری ... [و دیگران].
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۴۱۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۷۹۵.
شابک	: 978-964-03-7035-3
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: ترجمه محمد جعفری، فرج الله ترنیان، شهلا قادری، وحیده عبداللهی، مرتضی صابری.
یادداشت	: عنوان اصلی: Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration 3rd ed, 2014
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: لاشبرگ گیاهی
موضوع	: گیاهخاک
موضوع	: کربن‌گیری و ذخیره‌سازی کربن
شناسه افزوده	: مک‌کلورتی، چارلز، ۱۹۵۱-م. McClagherty, Charles
شناسه افزوده	: جعفری، محمد، ۱۳۳۸-، مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۶ ب۴/۵۴۱۱/۵ QH
رده‌بندی دیویی	: ۶۳۱/۴۱۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۵۰۵۳۵۸

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.

ISBN:978-964-03-7035-3



9 789640 370353

عنوان: لاشبرگ گیاهی: تجزیه، تشکیل هوموس، ترسیب کربن

تألیف: بیورن برگ- چارلز مک‌کلورتی

ترجمه: دکتر محمد جعفری- دکتر فرج‌الله ترنیان- مهندس شهلا قادری-

مهندس وحیده عبداللهی- مهندس مرتضی صابری

ویرایش ادبی: فرشاد رضوان

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۶

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجمان است»

بها: ۲۸۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرش مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: [press@ut.ac.ir](mailto:press@ut.ac.ir) - تارنما: <http://press.ut.ac.ir>

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

## پیش‌گفتار مترجمان

تجزیه و فتوسنتز مهم‌ترین فرایندهایی هستند که بیشتر فرایندهای کربن زیستی در زمین را دربر می‌گیرند. فتوسنتز به‌طور گسترده در سطوح مختلف از بیوشیمیایی گرفته تا اکولوژیکی بررسی شده است. می‌توان گفت که فتوسنتز به‌نسبت به‌خوبی شناخته شده و اهمیت عملکرد آن برای زیست‌کره، و همچنین اهمیت زراعی آن، به‌خوبی مشخص شده است. تجزیه، به‌تقریب همان اندازه از کربنی را که در فتوسنتز ساخته شده است تبدیل می‌کند. تجزیه به‌طور عمده در زیر یا روی سطح زمین اتفاق می‌افتد و به همین دلیل تا حد زیادی "قابل دیدن" نیست و در درجهٔ اول به‌وسیلهٔ باکتری‌ها و قارچ‌ها انجام می‌گیرد. از نگاه بیوشیمیایی، تجزیه در مقایسهٔ با فتوسنتز خیلی نامنظم است. بنابراین جای تعجب نیست که فرایند تجزیه از بین دو فرایند بزرگ تبدیل کربن بر روی این سیاره، یعنی نسبت به فتوسنتز، کمتر بررسی شده است. در دو دههٔ گذشته، نیاز به درک بهتر تجزیه به نیاز آشکاری تبدیل شده و به‌صورت روزافزون در حال افزایش است. مقادیر عظیمی از دی‌اکسید کربنی که به جو باز می‌گردد به‌وسیلهٔ تجزیهٔ مواد آلی صورت می‌پذیرد. همچنین تجزیه مسئول تشکیل مواد هوموسی است که به حاصلخیزی خاک و ذخیره‌سازی طولانی‌مدت کربن منجر می‌شود. تجزیه ارتباط نزدیکی به چرخهٔ مواد مغذی دارد، و برای احیای ارگانیک مواد غذایی ضروری است. بنابراین در سطح زیست‌کره، به دو دلیل اصلی درک درست از تجزیه، مهم خواهد بود. اول، مقدار شایان توجهی از دی‌اکسید کربن، متان و گازهای با پایهٔ نیتروژن به‌عنوان محصولات تجزیه منتشر می‌شوند. در حال حاضر، این به اصطلاح گازهای گلخانه‌ای هستند که به‌دلیل نقششان در تغییرات اقلیمی جهانی مورد توجه قرار گرفته‌اند. بنابراین، عواملی که سبب افزایش سرعت تجزیه هستند موجب افزایش مقدار گازهای مبتنی بر کربن در جو نیز می‌شوند، دوم، خاک مخزن بزرگی برای کربن است. به‌حدی که کربن در خاک به‌عنوان هوموس و ترکیبات آلی پایدار مربوط ذخیره می‌شود، و از گردش آن به اتمسفر جلوگیری می‌کند. بنابراین، درک درستی از عوامل مؤثر بر مقدار هوموس تشکیل شده و ثبات آن، از یک طرف در پیش‌بینی بودجهٔ جهانی کربن اتمسفر و از طرف دیگر در حاصلخیزی خاک مهم است (اسلشینگر و اندریز<sup>1</sup>، ۲۰۰۰).

به‌طور کلی فرایند تجزیه در دنیا کمتر شناخته شده است. از آنجا که منبع تخصصی جامعی در این زمینه وجود ندارد؛ امیدواریم که این کتاب به‌تواند به افزایش درکمان در مورد تجزیه از مرحلهٔ ریزش لاشبرگ تا مرحلهٔ تشکیل هوموس کمک کند. این کتاب مشتمل بر ۱۲ فصل است. فصل اول در مورد اهمیت مطالعهٔ فرایند تجزیه در اکوسیستم‌های طبیعی و تاریخچهٔ تحقیقات بر روی تجزیه است؛ فصل دوم از تجزیهٔ لاشبرگ به‌عنوان یک فرایند یاد می‌کند که شامل مجموعهٔ پیچیده‌ای از فرایندهای شیمیایی، فیزیکی، و عوامل بیولوژیکی است. این فصل به توصیف فرایندهای میکروبی اصلی مرتبط با تجزیهٔ لاشبرگ اختصاص دارد که سبب تلفات توده یا انتشار CO<sub>2</sub> می‌شوند؛ در فصل سوم به مهم‌ترین موجودات زندهٔ تجزیه‌کننده (که شامل قارچ‌ها و باکتری‌ها هستند) پرداخته می‌شود؛ فصل چهارم به بررسی ترکیب

شیمیایی اولیه لاشبرگ در گیاهان مختلف و چگونگی تأثیر آن بر روی جوامع میکروبی تجزیه‌کننده پرداخته شده است. فصل پنجم به تغییرات شیمیایی لاشبرگ در طول فرایند تجزیه اختصاص دارد؛ در فصل ششم به تأثیر ترکیبات شیمیایی بر روی نرخ تجزیه پرداخته می‌شود. فصل هفتم به تأثیر اقلیم بر روی فرایند تجزیه می‌پردازد؛ در فصل هشتم، تجزیه ریشه‌های نازک و لاشبرگ (بقایای گیاهی) چوبی بررسی خواهد شد؛ در فصل نهم الگوهای به‌کار گرفته‌شده در توصیف لاشبرگ مورد بحث قرار می‌گیرند. فصل دهم به بررسی بعضی از اثرات که روی الگوی تجزیه، الگوی رگرسیون، بخش پایدار و ترسیب کربن تأثیرگذار هستند، می‌پردازد؛ فصل یازدهم به این پرسش می‌پردازد که آیا هوموس تجمع می‌یابد و کجا تجمع پیدا می‌کند؟ و اینکه چه عواملی شاید روی آن تأثیرگذار باشند؟ و در نهایت در فصل دوازدهم به ترسیب کربن در اکوسیستم‌های طبیعی پرداخته شده است.

## پیش‌گفتار ویرایش سوم

وقتی که ما کار روی این کتاب را شروع کردیم در این فکر بودیم که اطلاعات جدید به‌دست‌آمده در مورد تجزیه لاشبرگ طی ۲۰ تا ۳۰ سال گذشته را خلاصه و سنتز کنیم. ما مشاهده کردیم که قسمت اعظم تحقیقات جدید انجام گرفته مربوط به سیستم‌های (اکوسیستم‌های) جنگلی شمالی و معتدل هستند. بنابراین با تمرکز بر روی این سیستم‌ها ما در نهایت به یک نتیجه‌گیری رسیدیم که برای مناطق مورد مطالعه کاربرد دارد. با این حال، امیدوار هستیم که دید عمیق‌تری نسبت به رفتار شمار محدودی از انواع لاشبرگ برای یک نتیجه‌گیری کلی با ارزش باشد و همچنین به تشخیص فرایند تجزیه به ما کمک کند.

این کتاب بر روی تجزیه لاشبرگ از مرحله ریزش آن تا تشکیل مواد هوموسی پایدار تمرکز می‌کند و به توصیف و توضیح تغییرات ترکیبات شیمیایی در طول فرایند تجزیه و سازوکارهای ایجادکننده این تغییرات در سطح منطقه‌ای و کلی، با در نظر گرفتن اقلیم و گونه‌های متفاوت می‌پردازد.

به‌طور کلی، این کتاب بعضی از جنبه‌های جدید تجزیه را بررسی می‌کند که محققان درباره آنها جدال دارند. بنابراین، این واقعیت که ما بر روی نقش مهم میکروارگانیسم‌ها در فرایند تجزیه تأکید می‌کنیم شاید خواننده‌های زیادی را نگران کند. ما همچنین روی این واقعیت که لایه‌های هوموسی طی هزاران سال در مقدار قابل ملاحظه‌ای تشکیل شده‌اند تأکید می‌کنیم. این لایه‌ها منبع ذخیره مواد غذایی، (به‌عنوان مثال کربن و نیتروژن) هستند.

این کتاب بر اساس داده‌ها و نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات عرصه‌ای نوشته شده است. ما بر روی سیستم‌های جنگلی تخریب‌نشده تمرکز کردیم تا اصول اولیه‌ای برای درک مفاهیم و سازوکارهای پایه تجزیه ایجاد کنیم. تأکید ما بر روی سیستم‌های جنگلی شمالی است که دلیل واضح آن وجود داده‌های زیاد در این جنگل‌هاست که سنتز و نتیجه‌گیری را ممکن می‌کند. همچنین از داده‌های سیستم‌های جنگلی معتدل برای سنتز و نتیجه‌گیری استفاده شد.

در رابطه با تجزیه و تبدیلات، ما هنوز مکاتب فکری متفاوتی را تشخیص نداده‌ایم و آشکار است هنوز در این زمینه تحقیقات به اندازه کافی صورت نگرفته است. در این مورد ما باید جنبه‌های مختلفی از کارهای تحقیقی را در نظر بگیریم. بنابراین، بعضی از محققان تلاش کرده‌اند تا سازوکارهای تجزیه را درک کنند، درحالی که چندین گروه بر روی شاخص‌های پیش‌بینی نرخ‌های تجزیه بلند مدت تحقیق کرده‌اند.

در این کتاب از تحقیقات علمی محققان دیگر به‌طور واضح استفاده شده که می‌خواهیم از آنها تشکر کرده باشیم. مقالاتی که با همکاری گروه دکتر ماری مادالین کیوسه<sup>۱</sup> از CNRS، مونتپولیه انتشار یافته و همچنین کارهای پروفیسور جان آبراز<sup>۲</sup> دانشگاه نیوهامپشیر و دکتر جری ملیلو<sup>۳</sup> از مرکز اکوسیستم‌ها، MBL، Woods Hole برای ما خیلی مفید بودند.

محققان زیاد دیگری در فرایند جمع‌آوری و بسط اطلاعات این کتاب کمک کرده‌اند. دوست داریم از

---

1. Marie-Madeleine Couteaux  
2. John Aber  
3. Jerry Melillo

تمام آنها تشکر کنیم، ولی ما آرزو داریم که درک کنند نمی‌توان اسامی همه آنها را در اینجا فهرست کرد. داده‌های با ارزش و جدیدی از پروژه بزرگ در ایالات متحده آمریکا به‌عنوان گروه آزمایشی تجزیه بلندمدت بین سایتی (LIDET)<sup>1</sup> و پروژه کانادایی آزمایش تجزیه داخل سایتی (CIDET)<sup>2</sup> فراهم آمده است. روش‌های جدید <sup>13</sup>C-NMR که برای تعیین ترکیبات آلی در لاشبرگ در حال تجزیه در کانادا، ایتالیا، توسعه یافته‌اند، دیدگاه جدیدی را برای ما فراهم آورده‌اند و شاید نظریه‌های قدیمی‌تر در مورد فرایند تجزیه لاشبرگ را تغییر دهند.

همچنین باید از کمک‌های مرکز بروم با<sup>3</sup> علوم محیطی در دانشگاه ماوت یونین<sup>4</sup>، الاینس<sup>5</sup> در ایالت اوهایو در اولین ویرایش تشکر کنیم. همچنین از مؤسسه BITÖK، دانشگاه Bayreuth، در آلمان و کمیته اتحادیه اروپا از طریق پروژه CNTER (QLK5-2001-00596) به‌خاطر کمک‌های مالی خوبشان تشکر می‌کنیم.

در ویرایش دوم و سوم از داده‌های منطقه‌ای زیادی در مناطق اقلیمی مختلف استفاده کردیم که توسط پروفسور Vernon Meentemeyer در دانشگاه جورجیا، آتن به‌دست آمده‌اند که بسیار با ارزش هستند. به‌علاوه، از مقالات اخیر دکتر Chunjiang Liu، دانشکده کشاورزی و بیولوژی، دانشگاه Shanghai Jiao Tong و آزمایشگاه Key، Urban Agriculture، وزارت کشاورزی، شانگهای در سنتز این کتاب کمک گرفته شد.

جا دارد از دکتر Cecilia Akselsson، دکتر Maj-Britt Johansson، دکتر Anna Hagen-Thorn، دکتر Per Gundersen و دکتر Åke Nilsson برای اینکه به ما اجازه دادند تا از منابع انتشار نیافته آنها استفاده کنیم، تشکر کنیم. ما همچنین باید از پروفسور Egbert Matzner از BITÖK، دانشگاه Bayreuth، پروفسور Carl-Johan Westman، از بخش اکولوژی جنگل دانشگاه Helsinki و پروفسور Amalia Virzo De Santo از Dipartimento Biologia Strutturale e Funzionale، دانشگاه Naples Federico II برای کمک‌های زیادشان تشکر کنیم.

حالا که سومین ویرایش این کتاب به اتمام رسیده است، می‌خواهیم از کمک‌ها و پشتیبانی با ارزشی که دریافت کردیم تشکر و قدردانی کنیم. در نهایت، قبل از اینکه کتاب به دست خواننده‌گان برسد، دوست داریم از تمام افرادی که در تکمیل این کتاب نقش داشتند، تشکر کرده باشیم.

Uppsala and Helsinki, April 2013



Björn Berg

Alliance



Charles McClagherty

1 Long-Term Intersite Decomposition Experiment Team (LIDET)

2 Canadian Intersite Decomposition Experiment (CIDET)

3 Brumbaugh

4 Mount Union

5 Alliance

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## فهرست مطالب

فصل اول	۱
۱.۱ بررسی اجمالی تجزیه لاشبرگ گیاهی	۱
۲.۱ مروری کوتاه	۲
۳.۱ اهمیت اکولوژیکی تجزیه لاشبرگ و تشکیل هوموس	۴
۴.۱ عوامل مؤثر بر تجزیه و تشکیل هوموس	۵
۵.۱ تجمع هوموس و مواد غذایی	۶
۶.۱ مطالب و سازماندهی کتاب	۸
۷.۱ انگیزه‌های نوشتن کتاب	۱۱
۸.۱ الحاقات جدید در نسخه سوم	۱۲
فصل دوم	۱۵
۱.۲ تجزیه لاشبرگ	۱۵
۲.۲ تعریف تجزیه لاشبرگ	۲۰
۳.۲ حرکت خاکستر	۲۲
۴.۲ تخریب گروه‌های اصلی ترکیبات آلی در لاشبرگ	۲۲
۱.۴.۲ تخریب و آبشویی مواد آلی محلول	۲۳
۲.۴.۲ تجزیه مواد آلی لیگنینی نشده	۲۵
۳.۴.۲ الگوی تخریب ترکیبات آلی اصلی در لاشبرگ کاج جنگلی	۲۶
۴.۴.۲ الگوی برای ترکیبات آلی اصلی بر اساس AUR: تجزیه و تحلیل‌های گراویمتری (وزن سنجی)	۲۸
لیگنین	۲۸
۵.۴.۲ تجزیه و تحلیل $^{13}\text{C-NMR}$ به کار گرفته شده در لاشبرگ برگ‌ی در حال تجزیه	۲۹
۵.۲ عوامل کنترل‌کننده تجزیه لیگنین یا AUR	۳۲
۱.۵.۲ اثرات بالقوه و اثرات متقابل ممکن روی تجزیه لیگنین یا AUR	۳۲
۲.۵.۲ اثرات غلظت منگنز لاشبرگ روی تخریب لیگنین یا AUR و تلفات توده لاشبرگ	۳۳
۳.۵.۲ اثر نیتروژن روی لیگنین یا AUR و تخریب لاشبرگ در مرحله آخر تجزیه	۳۴
۶.۲ الگوی پیشنهادشده برای تجزیه لاشبرگ تازه ریخته‌شده تا مرحله هوموسی شدن	۳۸

۴۰	..... مرحله اولیة تجزیه
۴۱	..... شاید مرحله آخر تجزیه زیرمراحلی داشته باشد
۴۲	..... مرحله نزدیک هوموسی شدن یا مرحله مقدار حد
۴۷	..... فصل سوم
۴۷	..... ۱.۳ مقدمه
۴۹	..... ۲.۳ ویژگی‌های کلی یک جمعیت میکروبی مشخص
۵۱	..... ۳.۳ تخریب پلیمرهای اصلی در لاشبرگ
۵۱	..... ۱.۳.۳ تخریب سلولز
۵۵	..... ۲.۳.۳ تخریب همی سلولز
۵۶	..... ۳.۳.۳ تخریب لیگنین
۵۶	..... ۱.۳.۳.۳ تخریب لیگنین به وسیله قارچ‌های پوسیدگی سفید
۵۹	..... ۲.۳.۳.۳ تخریب لیگنین به وسیله قارچ‌های پوسیدگی قهوه‌ای
۶۰	..... ۳.۳.۳.۳ تخریب لیگنین به وسیله قارچ‌های پوسیدگی نرم
۶۱	..... ۴.۳.۳.۳ آنزیم‌ها به صورت مستقیم تحت تأثیر غلظت منگنز مواد قرار دارند
۶۱	..... ۵.۳.۳.۳ اثر کمبود نیتروژن در سوخت و ساز لیگنین
۶۳	..... ۶.۳.۳.۳ اثر منبع کربن در تخریب لیگنین
۶۳	..... ۴.۳ تخریب الیاف
۶۳	..... ۱.۴.۳ باکتری‌ها
۶۴	..... ۲.۴.۳ پوسیدگی نرم
۶۴	..... ۳.۴.۳ پوسیدگی قهوه‌ای
۶۵	..... ۴.۴.۳ پوسیدگی سفید
۶۵	..... ۵.۳ میکوریزا
۶۶	..... ۶.۳ جنبه‌های بوم شناختی
۷۱	..... فصل چهارم
۷۱	..... ۱.۴ مقدمه
۷۳	..... ۱.۴ اجزای آلی-شیمیایی لاشبرگ گیاهی و ساختار فیبر



۷۳	اجزای آلی-شیمیایی
۷۷	ساختار فیبر
۸۰	غلظت‌های مواد غذایی و فلزات سنگین در لاشبرگ تازه‌ریخته
۸۰	ویژگی‌های کلی
۸۱	بازجذب مواد غذایی و ضریب برداشت
۸۴	تغییر غلظت مواد غذایی، شاخ و برگ سبز در مقابل شاخ و برگ قهوه‌ای
۸۷	عوامل تأثیر گذار روی ترکیب شیمیایی لاشبرگ
۸۷	عوامل اصلی
	۲.۴.۴ مواد غذایی، فلزات سنگین و AUR در لاشبرگ سوزنی گونه‌های کاج و نوئل: دو مورد پژوهی در
۸۹	طول گرادیان اقلیمی
۸۹	جنس کاج
۹۵	جنس Picea
۹۶	اثر ویژگی‌های خاک
۹۸	لاشبرگ برگی چندین گونه خزان‌کننده و مخروطی
۹۸	تغییر در یک گرادیان جهانی اوراسیایی با تمرکز روی نیتروژن
۹۹	جنس یا گونه‌های مخروطی در مقابل خزان‌کننده و اثر گونه‌ای: یک ایده قدیمی
۱۰۴	روابط کلی (جهانی)
۱۰۴	لاشبرگ چوبی و ریشه نازک
۱۰۴	اثرات فعالیت‌های انسانی روی ترکیب اولیه لاشبرگ
۱۰۵	رویشگاه‌های تک‌کشتی کاج جنگلی و نوئل کوددهی شده با نیتروژن
۱۰۹	آلودگی فلزات سنگین و ترکیب شیمیایی اولیه لاشبرگ
۱۱۱	<b>فصل پنجم</b>
۱۱۱	مقدمه
۱۱۳	تغییرات آلی-شیمیایی مواد در طول تجزیه لاشبرگ
۱۱۳	عوامل تجزیه و تحلیل قدیمی
۱۱۳	سلولز

۱۱۳.....	۲.۱.۲.۵ همی سلولزها
۱۱۴.....	۳.۱.۲.۵ اغلب "لیگنین" به عنوان باقیمانده های هیدرولیزناشدنی در اسید تعیین می شود
۱۱۶.....	۴.۱.۲.۵ قابلیت تکرار و نرخ افزایش غلظت AUR
۱۲۰.....	۲.۲.۵ روابط بین هولوسلولز و AUR
۱۲۰.....	۳.۲.۵ روش $^{13}\text{C-NMR}$
۱۲۰.....	۱.۳.۲.۵ سلولز و همی سلولز
۱۲۲.....	۲.۳.۲.۵ لیگنین و گروهی از ترکیبات جدید ساخته شده
۱۲۳.....	۳.۳.۲.۵ بعضی شاخص های پیشنهاد شده
۱۲۳.....	۳.۵ غلظت های مواد غذایی و فلزات سنگین در طول تجزیه
۱۲۳.....	۱.۳.۵ تغییرات در غلظت عناصر در لاشبرگ در حال تجزیه
۱۲۴.....	۱.۱.۳.۵ لاشبرگ کاج جنگلی
۱۲۸.....	۴.۵ تحقیقات ویژه روی حرکت منگنز و نیتروژن
۱۲۸.....	۱.۴.۵ حرکت غلظت منگنز
۱۲۸.....	۱.۱.۴.۵ تغییرات غلظت با تلفات تجمعی توده
۱۳۱.....	۲.۱.۴.۵ الگوهای آزادسازی منگنز در طول تجزیه
۱۳۲.....	۲.۴.۵ تحرک غلظت نیتروژن در طول یک ترانسکت اقلیمی
۱۳۹.....	<b>فصل ششم</b>
	<b>ترکیبات شیمیایی به عنوان تنظیم کننده نرخ تجزیه لاشبرگ: تغییرات اولیه و بعدی در طول تجزیه،</b>
۱۳۹.....	<b>تکنیک های تحلیلی جدید و سنتی</b>
۱۳۹.....	۱.۶ مقدمه
۱۴۱.....	۲.۶ یافته های جدید و امکان ارتباط آنها با الگوی سه مرحله ای
۱۴۱.....	۳.۶ الگوی سه فازی به کار برده شده برای ترکیب شیمیایی گونه های مختلف لاشبرگ
۱۴۶.....	۱.۳.۶ مرحله اولیه تجزیه: غالب شده به وسیله سلولز و همی سلولز
۱۴۶.....	۱.۱.۳.۶ فاز اولیه: چه چیزی تجزیه می شود؟
۱۴۹.....	۲.۱.۳.۶ مرحله اولیه تلفات توده: چگونه می توان نرخ های اولیه تجزیه را شرح داد؟
۱۵۱.....	۳.۱.۳.۶ ترکیب شیمیایی اولیه و شاخص های مختلف مربوط به فاز اولیه نرخ تجزیه

- ۲.۳.۶ تجزیه در مرحله آخر - فاز تنظیمی به وسیله لیگنین ..... ۱۵۷
- ۱.۲.۳.۶ مرحله تجزیه لیگنین کنترل کننده ..... ۱۵۷
- ۲.۲.۳.۶ برخی از الگوهای تجزیه‌ای مرتبط با لیگنین در میان انواع لاشبرگ‌ها ..... ۱۵۸
- ۳.۲.۳.۶ کاهش نرخ تلفات توده لاشبرگ در مرحله آخر بعد از اضافه کردن نیتروژن ..... ۱۵۸
- ۴.۲.۳.۶ اثرات منگنز بر تجزیه لاشبرگ: برخی موردپژوهی‌ها و تلاشی برای سنتز ..... ۱۶۲
- ۵.۲.۳.۶ برخی موردپژوهی‌های مربوط به لاشبرگ تلفات توده لاشبرگ با توجه به غلظت منگنز ..... ۱۶۲
- ۶.۲.۳.۶ نرخ تلفات توده سالانه لاشبرگ در مرحله انتهایی در مقایسه با غلظت منگنز و نیتروژن ..... ۱۶۵
- ۷.۲.۳.۶ چگونه باید متوجه شویم که لیگنین سبب کند شدن فرایند تجزیه لاشبرگ می‌شود؟ ..... ۱۶۷
- ۸.۲.۳.۶ مراحل اولیه و انتهایی در ارتباط با روش تجزیه و تحلیل  $^{13}\text{C-NMR}$  ..... ۱۷۰
- ۴.۶ لاشبرگ در مرحله نزدیک هوموس یا مقدار حد ..... ۱۷۴
- ۱.۴.۶ توضیحات کلی ..... ۱۷۴
- ۲.۴.۶ روابط کلی ..... ۱۷۵
- ۳.۴.۶ آیا مقدارهای حد یک بخش پایدار را نشان می‌دهد؟ ..... ۱۸۰
- ۵.۶ آیا ترکیبات شیمیایی روی آبشویی ترکیبات از هوموس تأثیر دارند؟ ..... ۱۸۱
- فصل هفتم ..... ۱۸۳**
- ۱.۷ مقدمه ..... ۱۸۳
- ۲.۷ واکنش میکروبی به درجه حرارت و رطوبت ..... ۱۸۴
- ۳.۷ اثر تغییر در اقلیم و توپوگرافی ..... ۱۸۵
- ۱.۳.۷ تجزیه در یک روبشگاه: تغییر در اقلیم ..... ۱۸۵
- ۲.۳.۷ اثرات توپوگرافی محلی ..... ۱۸۵
- ۴.۷ تجزیه در طول ترانسکت اقلیمی ..... ۱۸۷
- ۵.۷ بررسی ترانسکت چند گونه‌ای در آسیا و اروپا ..... ۱۹۳
- ۱.۵.۷ مقدار کاهش جرم لاشبرگ اولین سال در مقابل اقلیم و ترکیب شیمیایی لاشبرگ ..... ۱۹۳
- ۶.۷ اقلیم و تجزیه لاشبرگ سوزنی (نوئل) ..... ۲۰۲
- ۱.۶.۷ کاهش تلفات توده اولین سال ..... ۲۰۲
- ۷.۷ اقلیم و تجزیه لاشبرگ برگی گونه بلند مازو (*Quercus*) ..... ۲۰۴
- ۱.۷.۷ اقلیم در مقابل کاهش تلفات توده اولین سال ..... ۲۰۴

۲۰۵.....	۸.۷ تجزیه در گرادیان‌های اقلیمی و الگوی ۳ مرحله‌ای
۲۰۵.....	۱.۸.۷ لاشبرگ کاج جنگلی
۲۰۵.....	۱.۱.۸.۷ مرحلهٔ اولیه
۲۰۹.....	۲.۱.۸.۷ مرحلهٔ آخر
۲۱۳.....	۲.۸.۷ نوئل (Norway Spruce)
۲۱۳.....	۱.۲.۸.۷ اقلیم در مقابل کاهش تلفات تودهٔ اولین سال
۲۱۴.....	۲.۲.۸.۷ مرحلهٔ آخر
۲۱۵.....	۹.۷ یک سری از عوامل محدودکننده
۲۱۶.....	۱۰.۷ اقلیم و تجزیهٔ هوموس و لاشبرگ در مراحل نزدیک به هوموسی شدن
۲۱۹.....	<b>فصل هشتم</b>
۲۱۹.....	۱.۸ مقدمه
۲۲۳.....	۲.۸ تجزیهٔ بقایای گیاهی چوبی
۲۲۳.....	۱.۲.۸ روش‌ها
۲۲۳.....	۱.۱.۲.۸ کلاس‌های تجزیه‌ای برای چوب‌های زبر و خشن (کنده‌ها)
۲۲۵.....	۲.۱.۲.۸ نرخ تلفات (کاهش) توده: درصد تخریب و ثبات تجزیه‌ای (k)
۲۲۵.....	۳.۱.۲.۸ برآورد میزان تلفات توده در چوب‌های درشت و زبر
۲۲۶.....	۲.۲.۸ نرخ تجزیه در برابر اقلیم
۲۲۹.....	۳.۲.۸ انتشار (آزادسازی) دی‌اکسیدکربن
۲۳۰.....	۴.۲.۸ تغییرات شیمیایی اساسی
۲۳۱.....	۵.۲.۸ تغییرات در غلظت مواد مغذی
۲۳۵.....	۳.۸ تجزیهٔ ریشه‌های نازک
۲۳۶.....	۱.۳.۸ بقایای گیاهی ریشه‌های نازک
۲۳۶.....	۱.۱.۳.۸ میزان بقایای گیاهی
۲۳۷.....	۲.۱.۳.۸ ترکیبات شیمیایی ریشه‌های نازک
۲۳۷.....	۲.۳.۸ نرخ تلفات توده
۲۴۲.....	۳.۳.۸ تغییرات در ترکیب شیمیایی

۲۴۵	فصل نهم
۲۴۵	۱.۹ مقدمه
۲۴۸	۲.۹ سه الگوی که بیشترین استفاده را دارند
۲۴۹	۳.۹ الگوها
۲۴۹	۱.۳.۹ الگوی تک نمایی
۲۵۰	۲.۳.۹ الگوی دو نمایی
۲۵۰	۳.۳.۹ الگوهای مجانبی
۲۵۲	۴.۹ نوع الگو و برخی عوامل عمده مؤثر بر آن
۲۵۲	۱.۴.۹ برخی جنبه‌های مربوط به ترکیب شیمیایی لاشبرگ
۲۵۸	۲.۴.۹ گستردگی و کیفیت مجموعه داده
۲۵۹	فصل دهم
۲۵۹	۱.۱۰ مقدمه
۲۵۹	۱.۱.۱۰ پیشزمینه
۲۶۱	۲.۱.۱۰ اثرات بالقوه
۲۶۲	۲.۱.۰ دو الگوی اصلی و دو مدل اصلی؟
۲۶۳	۳.۱.۰ عوامل خاصی که شاید یک الگو و یک مدل را تعیین کنند؟
۲۶۳	۱.۳.۱.۰ نوع لاشبرگ در مقابل شیمی لاشبرگ یک الگو را بیان می‌کند
۲۶۵	۲.۳.۱.۰ خواص شیمیایی لاشبرگ: عوامل ویژه مربوط به بقایای برگی
۲۶۵	۱.۲.۳.۱.۰ چه چیزی در یک نام وجود دارد؟ آیا نام گونه علیت را آشکار می‌کند؟
۲۶۸	۳.۳.۱.۰ عوامل زیست محیطی
	۴.۱.۰ رابطه یک مقدار حد یا یک تجزیه کامل چیست؟ پایداری طولانی مدت در مقدار حد و در مقدار
۲۷۲	هوموس: تجزیه کم یا بدون تجزیه؟
۲۷۲	۱.۴.۱.۰ آیا می‌توان مقادیر حد را برای برآورد مواد آلی یا بودجه کربن به کار برد؟
	۲.۴.۱.۰ هوموس در رویشگاه‌های کاج جنگلی و نوئل، پایداری (ثبات) در مقابل غلظت نیتروژن هوموس
۲۷۶	
۲۷۹	فصل یازدهم
۲۷۹	آیا هوموس تجمع می‌یابد و کجا تجمع پیدا می‌کند؟
۲۷۹	۱.۱۱ مقدمه

- ۲۱۱ مقدار هوموس و افزایش آن در لایه‌های آلی ..... ۲۸۲
- ۳۱۱ تجمع کربن/هوموس تثبیت‌شده در لایه‌های آلی در جنگل‌های مناطق سرد و معتدله ..... ۲۸۵
- ۱.۳.۱۱ تجمع با سن رویشگاه ..... ۲۸۵
- ۴۱۱ تغییرات در نرخ ترسیب کربن در میان گونه‌ها و خواص خاک: داده‌ها مربوط به اروپای شمالی ..... ۲۸۹
- ۱.۴.۱۱ مقایسه در مقیاس بزرگ میان گونه‌ها در سرتاسر شمال اروپا ..... ۲۸۹
- ۲.۴.۱۱ تجمع کربن - ماده آلی خاک با اقلیم: جنگل‌های سوزنی‌برگ در گرادبانها ..... ۲۹۳
- ۵.۱۱ عوامل مرتبط با خاک معدنی که شاید ترسیب کربن لایه آلی را تحت تأثیر قرار دهند ..... ۲۹۵
- ۱.۵.۱۱ بافت خاک و مواد مغذی خاک معدنی ..... ۲۹۵
- ۲.۵.۱۱ قابلیت دسترسی مواد مغذی طبیعی لایه‌های آلی ..... ۲۹۸
- ۶.۱۱ ثبات لایه هوموس در مقابل تغییرپذیری آن ..... ۲۹۹
- ۷.۱۱ کربن در خاک معدنی ..... ۲۹۹
- ۱.۷.۱۱ آیا مقدار مواد آلی در خاک معدنی تغییر می‌کند؟ ..... ۲۹۹
- ۲.۷.۱۱ مواد آلی مخلوط شده با خاک معدنی ..... ۳۰۰
- ۳.۷.۱۱ آیا هیچگونه اثری از اختلال وجود دارد؟ ..... ۳۰۱
- فصل دوازدهم ..... ۳۰۵**
- ۱.۱۲ تجمع بلندمدت کربن در لایه آلی (افق O): نظریات عمومی ..... ۳۰۵
- ۲.۱۲ تأثیرات روی نرخ ترسیب کربن در اراضی جنگلی: سطح منطقه‌ای ..... ۳۰۷
- ۱.۲.۱۲ سایتهای دست نخورده و تأثیر انسانی ..... ۳۰۷
- ۲.۲.۱۲ نکته کلی در مورد پایگاه داده برای الگوسازی منطقه‌ای ..... ۳۰۹
- ۳.۱۲ دو مورد پژوهی ..... ۳۰۹
- ۴.۱۲ مورد پژوهی برای یک منطقه: اندازه‌گیری مستقیم عمق هوموس ..... ۳۱۰
- ۱.۴.۱۴ پیش زمینه ..... ۳۱۰
- ۲.۴.۱۲ طرح کلی پایش هوموس ..... ۳۱۱
- ۳.۴.۱۲ مقیاس‌بندی برای اندازه‌گیری‌های عرض‌های عمق هوموس در پلات‌ها برای کربن ترسیب‌شده در سطح کشور: بررسی اجمالی ..... ۳۱۲
- ۴.۴.۱۲ تغییرات در ضخامت لایه آلی در طول زمان ..... ۳۱۴
- ۱.۴.۴.۱۲ بررسی اجمالی مجموعه مناطق مورد مطالعه ..... ۳۱۴

- ۳۱۶..... روند کلی افزایش لایه آلی با گذشت زمان
- ۳۲۰..... Patchwork (لکه‌ای) نرخ رشد لایه هوموس به صورت
- ۳۲۳..... محاسبات جرم مخصوص ظاهری کربن در لایه هوموس
- ۳۲۳..... محاسبه میزان ترسیب کربن و برخی الگوها
- ۳۲۳..... نظریه‌های عمومی برای کل منطقه مورد مطالعه
- ۳۲۴..... میزان ترسیب کربن: جنگل کاج جنگلی در مقابل جنگل نوتل
- ۳۲۶..... منابع احتمالی خطا در برآورد میزان ترسیب کربن
- ۳۲۶..... ترسیب کربن در خاک معدنی. مشاهدات در مقیاس منطقه‌ای
- ۳۲۶..... الگوهای مختلف ترسیب؟
- ۳۲۸..... بودجه دی اکسید کربن و یک مورد پژوهی
- ۳۳۰..... باقیمانده پایدار لاشیرگ: نظریه و رویکرد منطقه‌ای احتمالی
- ۳۳۰..... پیش‌زمینه کوتاه
- ۳۳۱..... مجموعه داده‌های جغرافیایی
- ۳۳۲..... بسط دادن داده‌ها به مقیاس منطقه‌ای
- ۳۳۳..... محاسبه تشکیل هوموس و کربن
- ۳۳۳..... مقادیرهای ترسیب کربن پتانسیل
- ۳۳۴..... اثر گونه‌های درختی روی مقدار ترسیب کربن در لایه هوموس
- ۳۳۶..... منابع خطا در روش مقدار حد
- ۷.۱۲ نرخ ترسیب کربن در مورد پژوهی در مقایسه با اندازه‌گیری کمی در رویشگاه منفرد و Chronosequences در میان آنها
- ۳۳۸.....
- ۳۴۱..... پیوست I
- ۳۴۷..... پیوست II
- ۳۵۳..... پیوست III
- ۳۶۳..... پیوست IV
- ۳۶۷..... منابع