

# زیست فناوری ریز جلبک‌ها: یک پارچه‌سازی و اقتصاد

نویسندگان

پروفسور کلمنز پوستن، دکتر کریستین والتر و سایر همکاران

مترجمان

دکتر مهرو السادات سیدجعفری اولیا

دکتر محبوبه اکبری زارع

دکتر مینا مهدی شیشوان

دکتر مهرداد آذین

ویراستاران علمی

دکتر مهرداد آذین

(عضو هیئت علمی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران)

دکتر مهرو السادات سیدجعفری اولیا

عنوان و نام پدیدآور	زیست فناوری ریزجلبک‌ها: یک پارچه‌سازی و اقتصاد/ نویسندگان [صحیح: ویراستار] کلمنز پوستن، کریستین والتر و سایر همکاران؛ مترجمان مهرالسادات سیدجعفری‌اولیا... [و دیگران]؛ ویراستاران علمی مهرداد آذین، مهرالسادات سیدجعفری‌اولیا؛ ویراستار لیلا اوجاقلو.
مشخصات نشر	تهران: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	۴۸۰: ص.
شابک	978-622-94786-5-3:
وضعیت فهرست نویسی	فیبا:
یادداشت	عنوان اصلی: Microalgal biotechnology: integration and economy
یادداشت	مترجمان مهرالسادات سیدجعفری‌اولیا، محبوبه اکبری‌زارع، مینا مهدی‌شیشوان، مهرداد آذین.
موضوع	ریزجلبک‌ها / Microalgae / ریزجلبک‌ها -- تکنولوژی زیستی Microalgae -- Biotechnology جلبک‌ها -- تکنولوژی زیستی Algae -- Biotechnology
شناسه افزوده	پوستن، کلمنز، ویراستار
شناسه افزوده	Posten, Clemens:
شناسه افزوده	والتر، کریستین، ۱۹۶۵ پانزدهم دسامبر - م، ویراستار
شناسه افزوده	-Walter, Christian, 1965 December 15:
شناسه افزوده	سیدجعفری‌اولیا، مهرالسادات، ۱۳۶۲-، مترجم، ویراستار
شناسه افزوده	آذین، مهرداد، ۱۳۴۰-، مترجم، ویراستار
شناسه افزوده	سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
رده بندی کنگره	ATP/۲۴: ۲۷
رده بندی دیویی	۸۷۶۶۲:
شماره کتابشناسی ملی	۹۱۲۶۲۷۳:

## سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران



### زیست‌فناوری ریزجلبک‌ها: یک پارچه‌سازی و اقتصاد

نویسندگان: پروفیسور کلمنز پوستن، دکتر کریستین والتر و سایر همکاران  
مترجمان: دکتر مهرالسادات سیدجعفری‌اولیا - دکتر محبوبه اکبری‌زارع - دکتر مینا مهدی‌شیشوان  
- دکتر مهرداد آذین

ویراستاران علمی: دکتر مهرداد آذین - دکتر مهرالسادات سیدجعفری‌اولیا  
ویراستار: لیلا اوجاقلو

ناشر: سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: زمستان ۱۴۰۱

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸۶۲۲۹۴۷۸۶۵۳

چاپ و صحافی: انتشارات شرکت پیشرو فناوری قائد

صفحه‌آرایی: زینب زین‌الدینی

قیمت:

نشانی: احمدآباد مستوفی، بعد از میدان پارسا، خیابان انقلاب، خیابان شهید احسانی‌راد، صندوق پستی:

۳۷۵۷۵-۱۱۵

تمام حقوق مادی این اثر اعم از چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و مانند این‌ها برای سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران محفوظ است.

## فهرست مطالب

XV	مقدمه مترجمان.....
XVII	پیش‌گفتار.....
XIX	فهرست نویسندگان.....

### فصل اول: یک پارچه‌سازی زیست‌فناوری ریز جلبک‌ها

۴-۱-۱	یک پارچه‌سازی فرایند.....
۷-۱-۲	یک پارچه‌سازی متابولیکی.....
۹-۱-۳	یک پارچه‌سازی شرایط محیطی.....
۱۱-۱-۴	سازگاری با واقعیت‌های محیط کشت.....

### فصل دوم: مروری بر محصولات ریز جلبک‌ها

۱۷-۱-۲	ریز جلبک: مقدمه.....
۲۱-۲-۲	محصولات.....
۲۱-۱-۲-۲	تولید و استفاده از زیست‌توده جلبکی.....
۲۶-۲-۲-۲	ریز جلبک‌ها در تغذیه انسان.....
۲۷-۱-۲-۲-۲	اسپیروولینا (آرتروسپیرا).....
۲۸-۲-۲-۲-۲	کلرلا.....
۲۸-۳-۲-۲-۲	دونالیلا سالینا.....
۲۹-۳-۲-۲	ریز جلبک‌ها در تغذیه حیوانات.....
۳۱-۴-۲-۲	ریز جلبک‌ها به‌عنوان کود طبیعی.....
۳۲-۵-۲-۲	ریز جلبک‌ها در لوازم آرایشی و بهداشتی.....
۳۳-۶-۲-۲	مواد شیمیایی مفید.....
۳۳-۱-۶-۲-۲	اسیدهای چرب غیراشباع بلندزنجیره.....
۳۷-۲-۶-۲-۲	رنگدانه‌ها.....
۴۰-۳-۶-۲-۲	پلی‌ساکاریدها.....

۴۳	..... پروتئین‌های نو ترکیب	۴-۶-۲-۲
۴۴	..... ایزوتوپ پایدار	۵-۶-۲-۲
۴۴	..... ذرات میکرو و نانو ساختاری	۷-۲-۲
۴۶	..... مواد شیمیایی انبوه	۸-۲-۲
۴۸	..... تولید انرژی با استفاده از ریز جلبک‌ها	۹-۲-۲
۴۹	..... دیزل زیستی	۱-۹-۲-۲
۵۶	..... اتانول زیستی	۲-۹-۲-۲
۵۸	..... هیدروژن زیستی	۳-۹-۲-۲
۶۰	..... گاز زیستی	۴-۹-۲-۲
۶۰	..... ریز جلبک‌ها به‌عنوان پالایشگاه زیستی	۵-۹-۲-۲
۶۲	..... نتیجه‌گیری	۳-۲
۶۳	..... منابع	

## فصل سوم: تولید اسپیرولینا در دریاچه‌های آتشفشانی: از منابع طبیعی تا رفاه انسان

۷۵	..... مقدمه	۱-۳
۷۶	..... دریاچه‌های طبیعی اسپیرولینا در میانمار	۲-۳
۷۸	..... پارامترهای محیطی دریاچه‌های اسپیرولینا میانمار	۳-۳
۸۲	..... تولید اسپیرولینا در دریاچه‌های طبیعی	۴-۳
۸۲	..... برداشت محصول	۱-۴-۳
۸۴	..... شست‌وشو و آب‌زدایی	۲-۴-۳
۸۵	..... جداسازی و خشک‌کردن با نور استفاده از خورشید	۳-۴-۳
۸۷	..... افزایش استخرهای کنار دریاچه	۴-۴-۳
۸۸	..... تولید پایدار اسپیرولینا با استفاده از دریاچه‌های دهانه آتشفشانی	۵-۳
۸۸	..... محصولات اسپیرولینا میانمار	۶-۳
۹۰	..... اسپیرولینا به‌عنوان کود زیستی	۷-۳
۹۲	..... اسپیرولینا به‌عنوان افزایش‌دهنده گاز زیستی	۸-۳
۹۲	..... اسپیرولینا به‌عنوان منبع گاز زیستی	۹-۳
۹۲	..... همکاری میانمار و آلمان در زمینه زیست‌فناوری ریز جلبک‌ها	۱۰-۳
۹۳	..... بحث	۱۱-۳

۹۴	۱۲-۳- نتیجه‌گیری
۹۵	منابع
	فصل چهارم: مطالعه موردی سیستم بیوراکتور نوری در فضای باز با شرایط دمایی کنترل شده در برمن
۱۰۷	منابع

### فصل پنجم: جلبک‌ها برای استفاده در آبی‌پروری و غذای حیوانات

۱۱۱	۱-۵- مقدمه
۱۱۲	۲-۵- استفاده از ریزجلبک در مراحل تولید لارو آبزیان
۱۱۳	۱-۲-۵- سوبه‌های ریزجلبکی مورد استفاده در مراحل تولید لارو آبزیان
۱۱۵	۲-۲-۵- روش‌های کشت ریزجلبک‌ها برای آبی‌پروری
۱۱۶	۳-۲-۵- نقش ریزجلبک‌ها در آبی‌پروری
۱۱۶	۱-۳-۲-۵- ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبع غذایی صافی‌خواران آبی
۱۱۷	۲-۳-۲-۵- ریزجلبک‌ها به‌عنوان منبع غذایی طعمه‌های زنده زئوپلانکتونی
	۳-۳-۲-۵- ریزجلبک‌های کفزی به‌عنوان منبع غذایی برای نرم‌تنان شکم‌پا و خارپوستان
۱۲۰	
۱۲۱	۴-۳-۲-۵- افزودن ریزجلبک‌ها به تانک‌های حاوی لارو ماهی
۱۲۳	۵-۳-۲-۵- استفاده از کنسانتره‌های ریزجلبکی در مراحل تولید لارو آبزیان
۱۲۴	۳-۵- استفاده از جلبک‌ها در جیره غذایی گونه‌های آبی و دام‌های اهلی
۱۲۵	۱-۳-۵- جلبک‌ها به‌عنوان مکمل افزایش‌دهنده ارزش غذایی جیره
۱۲۵	۱-۱-۳-۵- ویتامین‌ها و مواد معدنی
۱۲۶	۲-۱-۳-۵- رنگ‌دانه‌ها
۱۲۷	۳-۱-۳-۵- اسیدهای چرب
۱۲۹	۲-۳-۵- جلبک‌ها به‌عنوان منبع بالقوه افزودنی‌های خوراکی: منبع پروتئین و انرژی
۱۳۶	۴-۵- چشم‌انداز
۱۳۸	منابع

### فصل ششم: جلبک‌ها؛ رویکردی برای مبارزه با سوءتغذیه در کشورهای درحال توسعه

۱۴۷	۱-۶- مقدمه
-----	------------

- ۱۴۷-۶-۲- جلبک‌ها در غذای انسانی.....
- ۱۴۸-۶-۳- ریزجلبک‌ها به‌عنوان راه‌حلی در برابر سوء‌تغذیه: *اسپیروولینا*.....
- ۱۴۹-۶-۴- تولید *اسپیروولینا* در مقیاس کوچک به عنوان ابزار توسعه.....
- ۱۵۱-۶-۵- کشت *اسپیروولینا* به‌عنوان کسب و کاری برای مبارزه با سوء‌تغذیه.....
- ۱۵۳-۶-۶- *اسپیروولینا* و جایگاه آن در وعده‌های غذایی و سیاست‌های توسعه.....
- ۱۵۵-۶-۷- مدارک و شواهد *اسپیروولینا* در زمینه سوء‌تغذیه.....
- ۱۵۸-۶-۸- نتیجه‌گیری.....
- ۱۵۹- منابع.....

### فصل هفتم: تولید هیدروژن با استفاده از سیستم‌های طبیعی و نیمه‌مصنوعی

- ۱۶۳-۷-۱- تولید هیدروژن زیستی با استفاده از میکروارگانیسم‌ها.....
- ۱۶۸-۷-۲- تولید نوری هیدروژن زیستی توسط جلبک‌های سبز.....
- ۱۷۲-۷-۳- تولید نوری هیدروژن با استفاده از سلول‌های طراحی‌شده سیانو باکتری.....
- ۱۷۴-۷-۴- تولید نوری هیدروژن با استفاده از باتری زیستی.....
- ۱۷۵-۷-۵- طراحی بیوراکتور نوری برای تولید هیدروژن.....
- ۱۷۵-۷-۶- مهندسی بیوراکتور نوری.....
- ۱۷۶-۷-۷- کنترل فرایند.....
- ۱۷۸-۷-۸- استراتژی‌های افزایش مقیاس.....
- ۱۷۹- منابع.....

### فصل هشتم: ۸- کارتنوئید آستاگزانتین حاصل از هماتوکوکوس پلوویالیس

- ۱۸۹-۸-۱- مقدمه.....
- ۱۹۰-۸-۲- ویژگی‌ها و تولید زیستی.....
- ۱۹۰-۸-۲-۱- اشکال شیمیایی آستاگزانتین.....
- ۱۹۲-۸-۲-۲- بیوسنتز آستاگزانتین.....
- ۱۹۴-۸-۲-۳- عملکرد آستاگزانتین.....
- ۱۹۵-۸-۳- هماتوکوکوس پلوویالیس.....
- ۱۹۵-۸-۳-۱- ویژگی‌های عمومی.....
- ۱۹۷-۸-۳-۲- فاکتورهای مؤثر در تجمع آستاگزانتین.....
- ۲۰۱-۸-۳-۳- تولید صنعتی هماتوکوکوس.....

۲۰۴	۴-۸- نتیجه‌گیری
۲۰۶	منابع

**فصل نهم: غربالگری و تولید ترکیب‌های منتخب ضدویروسی حاصل از میکروارگانسیم‌های فتوتروف**

۲۱۳	۱-۹- مقدمه
۲۱۴	۲-۹- تأمین ترکیبات طبیعی از ریزجلبک‌ها
۲۱۶	۳-۹- بیوراكتورهای نوری قابل استریل
۲۲۰	۴-۹- عوامل ضدویروسی ریزجلبک
۲۲۴	۵-۹- غربالگری ضد ویروسی
۲۲۴	۱-۵-۹- هدف اصلی غربالگری
۲۲۵	۲-۵-۹- روش غربال‌گری هوشمند
۲۲۵	۳-۵-۹- ترتیب مراحل فرایند اولیه
	۴-۵-۹- فعالیت ضدویروسی و تأثیرات تحریک‌کننده سیستم ایمنی آرتروسپیرا
۲۲۸	پلاتنسیس
۲۳۰	۵-۵-۹- بررسی ویژگی‌های ترکیبات ضدویروسی شبه‌اسپیرولان جدید
۲۳۶	۶-۹- نتیجه‌گیری
۲۳۸	منابع

**فصل دهم: کشف محصولات دارویی طبیعی با استفاده از ریزجلبک‌ها**

۲۴۹	۱-۱۰- مقدمه
۲۵۱	۱-۱-۱۰- ریزجلبک‌های یوکاریوتی
۲۵۱	۱-۱-۱۰-۱- دینوفلاژله‌ها
۲۵۳	۲-۱-۱۰-۱- دیاتومه‌ها
۲۵۳	۲-۱-۱۰-۲- سیانوباکترها
۲۵۶	۱-۲-۱-۱۰- مهارکنندگان پروتئیناز
۲۵۷	۲-۲-۱-۱۰- ترکیبات با سمیت سلولی
۲۶۰	۳-۲-۱-۱۰- ترکیبات ضدویروسی
۲۶۳	۴-۲-۱-۱۰- متابولیت‌های ضد میکروبی
۲۶۵	۵-۲-۱-۱۰- سایر فعالیت‌های زیستی

- ۱-۱-۳- سه نمونه از پروژه‌های فعلی تحقیقات دارویی با استفاده از ریزجلبک‌ها ۲۶۷
- ۱-۱-۳-۱- دولاستاتین‌ها به‌عنوان داروهای ضدسرطانی شناخته‌شده..... ۲۶۸
- ۱-۱-۳-۲- کریپتوفیسین‌ها به‌عنوان داروهای ضدسرطانی شناخته‌شده..... ۲۷۰
- ۱-۱-۳-۳- میکروسیستین‌ها به‌عنوان داروهای ضدسرطانی هدفمند..... ۲۷۲
- ۱-۱-۴- چشم‌انداز..... ۲۷۳
- منابع..... ۲۷۵

### فصل یازدهم: زیست‌پالایی ریزجلبک‌ها: تولید محصولات با ارزش بالا، مواد شیمیایی انبوه و سوخت‌های زیستی

- ۱-۱۱- مقدمه..... ۲۹۷
- ۱-۱۱-۲- اساس روش زیست‌پالایی ریزجلبک‌ها..... ۳۰۱
- ۱-۱۱-۲-۱- روش..... ۳۰۱
- ۱-۱۱-۲-۲- شکستن سلول، جداسازی و شکستن اندامک‌ها در شرایط عملیاتی ملایم ۳۰۴
- ۱-۱۱-۲-۳- استخراج و جداسازی ترکیبات با ارزش بالا..... ۳۰۶
- ۱-۱۱-۲-۴- امکانات اقتصادی زیست‌پالایی پیوسته..... ۳۰۸
- ۱-۱۱-۳- نتیجه‌گیری..... ۳۰۹
- منابع..... ۳۱۱

### فصل دوازدهم: راه‌اندازی پایلوت پلنت (واحد نیمه‌صنعتی) ریزجلبکی: نگرش کلی

- ۱-۱۲- درک اهداف کلی پایلوت پلنت..... ۳۱۷
- ۱-۱۲-۲- موقعیت پایلوت پلنت و انتخاب محل..... ۳۱۸
- ۱-۱۲-۳- رسم نمودار مسیر فرایند..... ۳۱۹
- ۱-۱۲-۴- دانستن آنچه که برای انجام آزمایشات و اندازه‌گیری داده‌ها لازم خواهد بود ۳۱۹
- ۱-۱۲-۵- اندازه واحدها..... ۳۲۱
- ۱-۱۲-۶- طرح اولیه پایلوت پلنت..... ۳۲۳
- ۱-۱۲-۷- مطالعه مخاطرات و راهبری..... ۳۲۷
- ۱-۱۲-۸- مرور چند جنبه طرح..... ۳۲۸
- ۱-۱۲-۹- پیشنهاد ساخت پایلوت پلنت..... ۳۲۸
- ۱-۱۲-۱۰- نهایی‌شدن طرح..... ۳۲۹



منابع..... ۳۳۰

## فصل سیزدهم: یافتن تنگنا: یک استراتژی تحقیقاتی برای بهبود تولید زیست توده

- ۱۳-۱- مقدمه: از مهندسی سلول چه انتظاری داریم؟ ..... ۳۳۳
- ۱۳-۱-۱- نیاز به بومی سازی ریزجلبک ها ..... ۳۳۳
- ۱۳-۱-۲- محدودیت روش های سنتی به منظور بهبود سویه ..... ۳۳۴
- ۱۳-۲- بومی سازی جلبک ها از طریق مهندسی ژنتیک کلروپلاست ..... ۳۳۵
- ۱۳-۲-۱- مهندسی کلروپلاست در کللامیدوموناس: پیشرفت و چالش ها ..... ۳۳۶
- ۱۳-۲-۲- نگرش زیست شناسی سنتتیک نسبت به مهندسی متابولیک کلروپلاست ۳۴۰ ..... ۳۴۳
- ۱۳-۲-۳- کاهش خطرات و نگرانی های در ارتباط با جلبک های تراریخته ..... ۳۴۴
- ۱۳-۳- بومی سازی جلبک ها به روش مهندسی ژنتیک هسته ای ..... ۳۴۴
- ۱۳-۳-۱- اصلاح نور به منظور تغییر و تبدیل زیست توده با تنظیم دانسیته نوری رنگ دانه کشت های جلبکی ..... ۳۴۴
- ۱۳-۴- مدل هایی برای پیش بینی رشد در بیوراکتورهای نوری ..... ۳۴۷
- ۱۳-۴-۱- فلوری متری با دامنه پالس کوتاه: کاوشگری به منظور بررسی سیستم های فتوسنتزی ..... ۳۴۷
- ۱۳-۴-۲- کشت ریزجلبک ها در بیوراکتورهای نوری: اثرات نور متناوب ..... ۳۵۲
- ۱۳-۴-۳- مدل استاندارد برای رشد با گرادیان نمایی نور ..... ۳۵۷
- ۱۳-۵- پاسخ سلولی به تغییرات محیطی ..... ۳۶۱
- منابع..... ۳۶۴

## فصل چهاردهم: روند تولید اقتصادی سوخت های مبتنی بر ریزجلبک ها

- ۱۴-۱- مقدمه ..... ۳۷۳
- ۱۴-۲- رویدادهای عمده ..... ۳۷۵
- ۱۴-۲-۱- پالایش زیستی ریزجلبک ها با هدف کاربرد در مواد غذایی، خوراک دام، کود و انرژی ..... ۳۷۵
- ۱۴-۲-۲- تولید سوخت زیستی از ریزجلبک های کم هزینه رشد یافته در پساب ..... ۳۷۶
- ۱۴-۲-۳- ارتقا تجهیزات و سیستم گاز زیستی به واسطه تولید ریزجلبک به منظور تولید برق ..... ۳۷۸

- ۳۸۰-۱۴-۲-۴- استخراج هیدروکربن از سویه‌های اصلاح‌شده ریزجلبک بوتریوکوکوس
- ۳۸۰-۱۴-۲-۵- تولید هیدروژن در ترکیب با فتولیز مستقیم و غیرمستقیم ریزجلبک.
- ۳۸۲-۱۴-۲-۶- تولید مستقیم اتانول از سیانوباکترهای اتوتروفی.....
- ۳۸۵-۱۴-۳-۳- بسترهای تولید.....
- ۳۸۶-۱۴-۳-۱- اقیانوس‌ها.....
- ۳۸۶-۱۴-۳-۲- دریاچه‌ها.....
- ۳۸۷-۱۴-۳-۳- استخرهایی با جریان سریع.....
- ۳۸۷-۱۴-۳-۴- بیوراكتورهای نوری.....
- ۳۸۷-۱۴-۳-۵- فرمانتورها.....
- ۳۸۷-۱۴-۴- نتایج.....
- ۳۸۹- منابع.....

#### فصل پانزدهم: سیستم‌های تولید ریزجلبک: تأثیر جهانی صنعت در مقیاس وسیع

- ۳۹۵-۱۵-۱- زیست‌فناوری ریزجلبک.....
- ۳۹۶-۱۵-۲- چالش‌های جهانی، تولید و تقاضا.....
- ۳۹۶-۱۵-۲-۱- تولید و تقاضای جهانی سوخت.....
- ۳۹۸-۱۵-۲-۲- تولید و تقاضای جهانی مواد غذایی.....
- ۳۹۹-۱۵-۲-۳- تابش خورشید و نیاز منطقه‌ای.....
- ۴۰۲-۱۵-۲-۴- چالش‌های جهانی.....
- ۴۰۳-۱۵-۳- تولید بالقوه و محدودیت‌ها.....
- ۴۰۳-۱۵-۳-۱- انرژی خورشیدی و موقعیت جغرافیایی.....
- ۴۰۶-۱۵-۳-۲- بهره‌وری بالقوه.....
- ۴۰۹-۱۵-۳-۳- منابع زمینی.....
- ۴۱۳-۱۵-۳-۴- مدیریت کربن و هزینه‌های مربوطه.....
- ۴۱۳-۱۵-۳-۴-۱- نیازمندی‌های دی‌اکسید کربن.....
- ۴۱۴-۱۵-۳-۴-۲- تجزیه و استفاده از دی‌اکسید کربن.....
- ۴۱۵-۱۵-۳-۴-۳- انتقال دی‌اکسید کربن.....
- ۴۱۶-۱۵-۳-۵- مدیریت مواد غذایی و هزینه‌های مربوطه.....
- ۴۱۸-۱۵-۳-۵-۱- فسفر.....
- ۴۱۸-۱۵-۳-۵-۲- نیتروژن.....

- ۴۱۸ ..... ۱۵-۳-۵-۳- باز یافت مواد مغذی
- ۴۱۹ ..... ۱۵-۳-۶- مدیریت آب و هزینه‌های مربوطه
- ۴۲۲ ..... ۱۵-۴-۴- تأثیر جهانی افزایش مقیاس
- ۴۲۲ ..... ۱۵-۴-۱- جهش تولید جهانی
- ۴۲۶ ..... ۱۵-۴-۲- اقتصاد سیستم‌های تولید ریز جلیبکی در مقیاس وسیع
- ۴۲۷ ..... ۱۵-۴-۳- تجزیه و تحلیل فنی - اقتصادی سیستم‌های تولید ریز جلیبک
- ۴۲۷ ..... ۱۵-۴-۳-۱- سیستم‌های کشت
- ۴۲۹ ..... ۱۵-۴-۳-۲- تأثیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری
- ۴۳۰ ..... ۱۵-۴-۳-۳- فرایندهای پایین دست
- ۴۳۱ ..... ۱۵-۴-۳-۴- برداشت و آگیری
- ۴۳۳ ..... ۱۵-۴-۴- مدل‌های تولید اختصاصی در مقابل مدل‌های یک پارچه
- ۴۳۶ ..... ۱۵-۴-۵- مدل‌های تجاری
- ۴۴۰ ..... ۱۵-۴-۶- مسیرهای تجاری سازی
- ۴۴۴ ..... ۱۵-۵- بحث
- ۴۴۸ ..... منابع
- ۴۵۷ ..... نمایه‌ها