

الکترومغناطیس مهندسی

(ویراست هشتم)

نوشته

ویلیام ه. هیت

جان آ. بوک

ترجمه

دکتر محمود بهار



انتشارات نگارنده دانش

سرشناسه	: هیت، ویلیام هارت، ۱۹۲۰- م	Hayt, William Hart
عنوان و نام پدیدآور	: الکترومغناطیس مهندسی / نوشته جان. آ. بوک، ویلیام ه. هیت؛ ترجمه محمود بهار.	
مشخصات نشر	: تهران: نگارنده دانش، ۱۳۹۲.	
مشخصات ظاهری	: ۶۶۴ ص.	
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۱۹۰-۴۱-۹	
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا	
پادداشت	: عنوان اصلی: Engineering electromagnetics, 8th ed, c2012.	
موضوع	: نظریه الکترومغناطیس	
شناسه افزوده	: پاک، جان. ا.، ۱۹۵۳- م.	
شناسه افزوده	: Buck, Jhon A.	
شناسه افزوده	: بهار، محمود، ۱۳۲۹- ، مترجم	
رده‌بندی کنگره	: ۷۷۰/۵۹۰ QC۶۷۰ ۱۳۹۲	
رده‌بندی دیویی	: ۵۳۰/۱۴۱	
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۲۷۲۱۳۸	

الکترومغناطیس مهندسی

نوشته	ویلیام ه. هیت
ترجمه	جان. آ. بوک
حروفچینی	دکتر محمود بهار
لیتوگرافی، چاپ، صحافی	واحد تولید نشر نگارنده دانش
نوبت چاپ	گلیف گرافیک، فرشپوه، خیام
تعداد صفحات، قطع	اول، ۱۳۹۲
تعداد	۶۶۴، وزیری
بها	۵۰۰ نسخه
	۲۵۰۰۰ تومان

انتشارات نگارنده دانش

www.negarandedanesh.com

تلفن: ۶۶۹۶۲۰۵۳ - ۶۶۹۶۲۳۰۵ تلفکس: ۶۶۹۶۴۲۸۸

هرگونه تکثیر، اسکن یا کپی‌برداری از تمام یا بخشی از مطالب این کتاب حتی با ذکر منبع، بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. هیچ فرد حقیقی یا حقوقی اجازه تولید و انتشار لوح یا مجموعه آموزشی از این اثر را به هر نحو ندارد.

سخن ناشر

با توسعه روزافزون دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی در کشور، اهمیت انتشار کتاب‌ها و منابع علمی مناسب برای کسانی که به پژوهش، تدریس، و یا تحصیل در سطوح مختلف آموزش عالی مشغول هستند، کاملاً روشن است. از طرفی از سال‌ها پیش، کمبود کتاب‌های علمی مناسب، چه از نظر محتوی و چه از نظر مواردی همچون نحوه نگارش، ترجمه، و ویرایش در سطح دانشگاه کاملاً محسوس بوده است. انتشارات نگارنده دانش با تکیه بر تجربه مؤسسات خود و شناخت آسیب‌های موجود در صنعت نشر، برای ایفای بخشی از رسالت خود و جبران جزئی از این کمبودها، اقدام به چاپ و نشر کتاب‌های دانشگاهی در زمینه‌های فنی مهندسی، علوم پایه و کامپیوتر به صورت تألیف یا ترجمه نموده است.

در این راستا، این انتشارات همواره کوشیده است تا با بررسی کتاب‌های جدید منتشر شده توسط ناشرین معتبر بین‌المللی، دریافت پیشنهاد چاپ کتاب‌های مورد نظر اساتید محترم دانشگاه، تعامل با مراکز علمی و دانشگاهی، و همکاری با مؤلفین و مترجمین خیره و دارای تحصیلات مرتبط، همواره با نشر کتاب‌های برگزیده و مورد تأیید اساتید دانشگاه، پاسخگوی این نیاز جامعه علمی کشور باشد.

بدیهی است پیشنهادها و انتقادهای سازنده جامعه علمی کشور، ما را در بهبود کار و انجام هرچه بهتر وظیفه‌ای که بر عهده گرفته‌ایم یاری خواهد کرد.

مدیر مسئول

مهندس علی کلانتری

a-kalantari@hotmail.com

پیشگفتار

کتاب الکترومغناطیس مهندسی تألیف ویلیام هیت و جان بوک، بعد از انقلاب اسلامی در ایران، توسط ستاد انقلاب فرهنگی به عنوان کتاب درسی برتر الکترومغناطیس برای دوره های کارشناسی مهندسی برق و الکترونیک انتخاب شد. این کتاب جامع، نظریه الکترومغناطیس را با دیدگاه کاربردی توصیف می کند و مثال های حل شده و خودآزمایی های فراوانی دارد.

ویرایش اول این کتاب در سال ۱۹۵۸ میلادی در ایالات متحد آمریکا چاپ شد و هنوز به عنوان یکی از کتاب های مطرح در زمینه الکترومغناطیس مهندسی مورد اقبال اساتید دانشگاه های دنیا قرار دارد و ویرایش هشتم آن در سال ۲۰۱۲ تجدید چاپ شده است.

نخستین ترجمه این کتاب از ویرایش ۱۹۴۷ آن، در ایران توسط انتشارات دانشگاه صنعتی شریف منتشر شده و کتاب حاضر از آخرین تجدید چاپ ویرایش هشتم آن ترجمه شده است.

در طول ۵۵ سال گذشته، مطالب اصلی این کتاب تغییر نکرده است، اما چون تعداد واحدهای درس الکترومغناطیس در رشته های مختلف مهندسی برق دانشگاه ها کاهش یافته است، لذا در ویرایش حاضر تلاش شده است دانشجویان معادلات ماکسول را زودتر بیاموزند و البته مطالب پیشرفته تری نیز اضافه شده است. در این ویرایش، بسیاری از فصل های کتاب کوتاه تر شده اند و این کار با خلاصه نویسی یا حذف کامل بعضی قسمت ها صورت گرفته است. تغییرات اساسی عبارت اند از: (۱) مطالب مربوط به دی الکتریک ها که قبلاً در فصل ۶ آمده بود، به انتهای فصل ۵ منتقل شده است. (۲) فصل مربوط به معادلات پواسون و لاپلاس حذف شده است، و فقط معادلات یک بعدی آنها باقی مانده و به انتهای فصل ۶ منتقل شده است. بحث مربوط به معادله لاپلاس دو بعدی و روش عددی نیز از کتاب حذف شده است. (۳) بحث مربوط به موجبرهای مکعب مستطیلی (فصل ۱۳) کامل تر شده و روش حل مسائل مربوط به مقادیر مرزی دو بعدی شرح داده شده است. (۴) موضوع تابش و آنتن ها کامل تر شده و تمام فصل ۱۴ را به خود اختصاص داده است.

در این ویرایش، ۱۳۰ مسئله جدید به کتاب اضافه و برای این منظور از مسائل خوب "کلاسیک" ویرایش های قبلی استفاده شده است. مسئله ها در سه گروه آسان ($\textcircled{A}$)، متوسط ($\textcircled{B}$) و مشکل ($\textcircled{C}$) دسته بندی شده اند. برای حل کردن مسائل آسان محاسبات عددی کمتری لازم است، در حالی که برای حل کردن مسائل مشکل باید تلاش بیشتری صورت گیرد و شاید به کمک کامپیوتر هم نیاز باشد.

مانند ویرایش قبلی، فصل مربوط به خطوط انتقال (فصل ۱۰) به صورت مستقل نوشته شده است و استاد می تواند در هر زمانی آن را تدریس کند. در این فصل، خطوط انتقال به طور کامل با نظریه مدار بررسی شده اند؛ در ضمن، پدیده های موجی معرفی و از آنها به صورت ولتاژ و جریان استفاده شده است. مفاهیم القاوری و ظرفیت به عنوان پارامترهای شناخته شده در نظر گرفته شده اند، لذا در هیچ فصل دیگری توصیف نشده اند. مفهوم میدان و محاسبه پارامتری آن در داخل خطوط انتقال، در اوایل فصل مربوط به موجبرها (فصل ۱۳) مورد بحث قرار گرفته

است. این محاسبات، فهمیدن خاصیت موجبری را آسان می‌کنند. در فصل‌های مربوط به موج‌های الکترومغناطیسی (۱۱ و ۱۲)، هنوز مستقل بودن از نظریه خط انتقال حفظ شده است، لذا بدون مطالعه فصل ۱۰ می‌توان از فصل ۹ مستقیماً به مطالعه فصل ۱۱ پرداخت. به این علت، پدیده‌های موجی با اصول اولیه معرفی شده‌اند و روی موج تخت یکنواخت تأکید شده است. البته در فصل ۱۱ در جاهایی که به تفصیل بیشتری نیاز بوده است، به فصل ۱۰ ارجاع داده شده است. با این همه، تمام مطالب لازم برای شناخت موج‌های تخت، بدون شناخت موج‌های خط انتقال، در فصل ۱۱ درج شده‌اند.

فصل جدید مربوط به آنتن‌ها که مفهوم تابش را نیز دربرمی‌گیرد، براساس بحث پتانسیل تأخیری در فصل ۹ نوشته شده است. در این بحث، روی آنتن دوقطبی، به صورت منفرد و به صورت آرایه‌های ساده، تأکید شده است. بخش پایانی فصل ۹ که شامل سامانه‌های فرستنده - گیرنده ساده است، باز هم با استفاده از مفهوم بنیادی دوقطبی نوشته شده است.

در این کتاب اگرچه ابتدا روی مفاهیم استاتیک تأکید شده است، اما باز هم می‌توان فصل مربوط به خطوط انتقال را در ابتدای دوم یا هر زمان دیگر مطالعه کرد. برای گذر سریع از مطالب استاتیک، می‌توان فرض کرد که مطالب مربوط به خواص ماده در درس‌های دیگر خوانده شده است و بعضی عناوین پیشرفته را نیز می‌توان حذف کرد. برای این منظور مثلاً می‌توان فصل ۱ را حذف کرد یا مطالعه آن را به عهده دانشجو گذاشت. در ضمن می‌توان بخش‌های ۵.۲، ۶.۲، ۷.۳، ۸.۴، ۵.۵، ۷.۵، ۳.۶، ۴.۶، ۷.۶، ۶.۷، ۷.۷، ۵.۸، ۶.۸، ۸.۸، ۹.۸ و ۵.۹ را نیز حذف کرد.

در این ویرایش مانند ویرایش اول ۱۹۵۸، از روش استنتاج استفاده شده است که با پیشرفت و توسعه تاریخی سازگار است. در این روش، قوانین تجربی به عنوان مفاهیم مستقل معرفی و نهایتاً در معادلات ماکسول متحد شده‌اند. بعد از فصل اول در مورد آنالیز برداری، ابزارهای ریاضی مورد نیاز در هر جای کتاب، در همان جا معرفی شده‌اند.

در تمام ویرایش‌های کتاب، هدف اصلی این بوده است که دانشجویان قادر شوند به طور مستقل یاد بگیرند. برای رسیدن به این هدف، مثال‌ها، خودآزمایی‌ها و مسئله‌های زیادی در متن کتاب و مطالب دیگری در وب‌گاه www.mhhe.com/haytuck ارائه شده‌اند.

در پایان از آقای مهندس علی کلاتری مدیر علاقه‌مند و علم‌دوست انتشارات نگارنده دانش برای فراهم کردن امکانات چاپ کتاب، از خانم فاطمه شریعتی برای تحریر دقیق متن، و از آقای نادر کثیری برای نظارت فنی این اثر قدردانی می‌کنم.

محمود بهار

عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی و دانشگاه آزاد اسلامی

شهریور ۱۳۹۲

فهرست

فصل ۱. آنالیز برداری	۱
۱.۱ نرده‌ای‌ها و بردارها	۱
۲.۱ جبر برداری	۲
۳.۱ دستگاه مختصات راستگوشه	۴
۴.۱ مؤلفه‌های برداری و بردارهای یکم	۵
۵.۱ میدان برداری	۸
۶.۱ ضرب نقطه‌ای	۹
۷.۱ ضرب برداری	۱۲
۸.۱ دستگاه‌های مختصات دیگر: مختصات استوانه‌ای دایره‌ای	۱۴
۹.۱ دستگاه مختصات کروی	۱۹
مسئله‌ها	۲۳
مراجع	۲۶
فصل ۲. قانون کولن و شدت میدان الکتریکی	۲۷
۱.۲ قانون تجربی کولن	۲۷
۲.۲ شدت میدان الکتریکی	۳۰
۳.۲ میدان ناشی از یک توزیع بار حجمی پیوسته	۳۴
۴.۲ میدان یک خط بار	۳۷
۵.۲ میدان یک ورقه بار	۴۱
۶.۲ خط - جریان‌ها و نمودار میدان‌ها	۴۳
مسئله‌ها	۴۷
مراجع	۵۰
فصل ۳. چگالی شار الکتریکی، قانون گاوس، و دیورژانس	۵۱
۱.۳ چگالی شار الکتریکی	۵۱

۵۵.....	۲.۳ قانون گاؤس.....
۵۹.....	۳.۳ کاربرد قانون گاؤس: چند توزیع بار متقارن.....
۶۴.....	۴.۳ کاربرد قانون گاؤس: عنصر حجمی دیفرانسیلی.....
۶۸.....	۵.۳ دیورژانس و معادلهٔ اول ماکسول.....
۷۲.....	۶.۳ عملگر برداری ∇ و قضیهٔ دیورژانس.....
۷۵.....	مسئله‌ها.....
۸۰.....	مراجع.....

۸۱.....	فصل ۴. انرژی و پتانسیل.....
۸۲.....	۱.۴ انرژی لازم برای حرکت بار نقطه‌ای در یک میدان الکتریکی.....
۸۳.....	۲.۴ انتگرال خطی.....
۸۹.....	۳.۴ تعریف اختلاف پتانسیل.....
۹۲.....	۴.۴ میدان پتانسیل الکتریکی یک بار نقطه‌ای.....
۹۳.....	۵.۴ میدان پتانسیل الکتریکی دستگاه بارها: خاصیت پایستار بودن.....
۹۷.....	۶.۴ گرادیان پتانسیل الکتریکی.....
۱۰۴.....	۷.۴ دوقطبی الکتریکی.....
۱۰۸.....	۸.۴ چگالی انرژی در میدان الکتریکی ساکن.....
۱۱۳.....	مسئله‌ها.....
۱۱۸.....	مراجع.....

۱۱۹.....	فصل ۵. رساناها و دی‌الکتریک‌ها.....
۱۲۰.....	۱.۵ جریان و چگالی جریان.....
۱۲۳.....	۲.۵ پیوستگی جریان.....
۱۲۴.....	۳.۵ رساناهای فلزی.....
۱۳۰.....	۴.۵ خواص رساناها و شرایط مرزی.....
۱۳۵.....	۵.۵ روش پیدا کردن تصویر.....
۱۳۷.....	۶.۵ نیمرساناها.....
۱۳۹.....	۷.۵ طبیعت مواد دی‌الکتریک.....
۱۴۵.....	۸.۵ شرایط مرزی برای مواد دی‌الکتریک کامل.....
۱۵۰.....	مسئله‌ها.....
۱۵۵.....	مراجع.....

۱۵۷.....	فصل ۶. ظرفیت الکتریکی.....
۱۵۷.....	۱.۶ تعریف ظرفیت الکتریکی.....
۱۵۸.....	۲.۶ خازن صفحه - موازی.....

۱۶۱	۳.۶ چند مثال برای ظرفیت الکتریکی
۱۶۵	۴.۶ ظرفیت الکتریکی یک خط دو سیمه
۱۷۰	۵.۶ استفاده از نقشه‌های ساده برای برآورد ظرفیت دی‌الکتریکی در مسائل دو بُعدی
۱۷۵	۶.۶ معادلات پواسون و لاپلاس
۱۷۸	۷.۶ چند مثال برای حل کردن معادله لاپلاس
۱۸۵	۸.۶ چند مثال برای حل کردن معادله پواسون: ظرفیت پیوندگاه p-n
۱۹۰	مسئله‌ها
۱۹۷	مراجع

فصل ۷. میدان مغناطیسی ایستا

۱۹۹	۱.۷ قانون بیو - ساواری
۲۰۸	۲.۷ قانون مداری آمپر
۲۱۶	۳.۷ کرل
۲۲۳	۴.۷ قضیه استوکس
۲۳۸	۵.۷ شار مغناطیسی و چگالی شار مغناطیسی
۲۳۱	۶.۷ پتانسیل‌های مغناطیسی نرده‌ای و برداری
۲۳۹	۷.۷ اثبات قوانین میدان مغناطیسی ایستا
۲۴۷	مسئله‌ها
۲۵۳	مراجع

فصل ۸. نیروهای مغناطیسی، مواد، و القاوری

۲۵۵	۱.۸ نیروهای وارد بر یک بار در حال حرکت
۲۵۶	۲.۸ نیروی وارد بر یک عنصر دیفرانسیلی جریان
۲۶۱	۳.۸ نیروی بین عنصرهای دیفرانسیلی جریان
۲۶۳	۴.۸ نیرو و گشتاور نیروی وارد به یک مدار بسته
۲۷۰	۵.۸ ماهیت مواد مغناطیسی
۲۷۳	۶.۸ مغناطش و تراوایی
۲۷۹	۷.۸ شرایط مرزی مغناطیسی
۲۸۲	۸.۸ مدار مغناطیسی
۲۸۹	۹.۸ انرژی پتانسیل مغناطیسی و نیروهای وارد بر مواد مغناطیسی
۲۹۱	۱۰.۸ القاوری و القای متقابل
۲۹۹	مسئله‌ها
۳۰۵	مراجع

فصل ۹. میدان‌های متغیر با زمان

۳۰۷	۱.۹ قانون فارادی
-----	------------------

۳۱۵	 جریان: جابه‌جایی
۳۱۹	 شکل نقطه‌ای معادلات ماکسول
۳۲۱	 شکل انتگرالی معادلات ماکسول
۳۲۴	 پتانسیل‌های پس افتاده
۳۲۹	 مسئله‌ها
۳۳۴	 مراجع

۳۳۵	 فصل ۱۰. خطوط انتقال
۳۳۶	 ۱.۱۰ توصیف فیزیکی انتشار در خط انتقال
۳۳۸	 ۲.۱۰ معادلات خط انتقال
۳۴۱	 ۳.۱۰ انتشار بدون اتلاف
۳۴۴	 ۴.۱۰ شکل انتگرالی معادلات ماکسول
۳۴۶	 ۵.۱۰ تحلیل مختلط امواج سینوسی
۳۴۸	 ۶.۱۰ معادلات انتقال و شکل فاروری جواب‌های آنها
۳۵۰	 ۷.۱۰ انتشار با اتلاف کم
۳۵۳	 ۸.۱۰ انتقال توان و استفاده از یکای دسی‌بل برای اتلاف توان
۳۵۶	 ۹.۱۰ بازتاب موج در ناپیوستگی‌ها
۳۵۹	 ۱۰.۱۰ نسبت موج ایستاده و لناژ
۳۶۴	 ۱۱.۱۰ خطوط انتقال متناهی
۳۶۷	 ۱۲.۱۰ چند مثال برای خط انتقال
۳۷۲	 ۱۳.۱۰ روش‌های ترسیمی: نمودار اسمیت
۳۸۴	 ۱۴.۱۰ تحلیل حالت‌های گذرا
۳۹۸	 مسئله‌ها
۴۰۶	 مراجع

۴۰۷	 فصل ۱۱. موج تخت یکنواخت
۴۰۷	 ۱.۱۱ انتشار موج در فضای آزاد
۴۱۶	 ۲.۱۱ انتشار موج در دی‌الکتریک‌ها
۴۲۶	 ۳.۱۱ قضیه پوینتینگ و توان موج
۴۳۰	 ۴.۱۱ انتشار موج در رساناهای خوب: اثر پوستی
۴۳۸	 ۵.۱۱ قطبش موج
۴۴۶	 مسئله‌ها
۴۵۱	 مراجع

۴۵۳	 فصل ۱۲. بازتاب و پاشندگی موج تخت
۴۵۳	 ۱.۱۲ بازتاب امواج تخت یکنواخت در تابش عمودی

۴۶۱	۲.۱۲ نسبت موج ایستاده
۴۶۶	۳.۱۲ بازتاب موج از چند سطح مشترک
۴۷۵	۴.۱۲ انتشار موج تخت در جهتهای مختلف
۴۷۹	۵.۱۲ بازتاب موج تخت، تحت زاویه تابش مایل
۴۸۵	۶.۱۲ بازتاب کلی و عبور کلی، تحت زاویه تابش مایل
۴۸۹	۷.۱۲ انتشار موج در محیطهای پاشنده
۴۹۴	۸.۱۲ پهن شدن پالس در محیطهای پاشنده
۴۹۹	مسئله‌ها
۵۰۳	مراجع

۵۰۵	فصل ۱۳. موج‌های هدایت شده
۵۰۶	۱.۱۳ میدان‌های خط انتقال و ثابت‌های اولیه
۵۰۸	۱.۱.۱۳ خط انتقال هم‌محور (در بسامدهای بالا)
۵۱۰	۲.۱.۱۳ خط انتقال هم‌محور (در بسامدهای پایین)
۵۱۱	۳.۱.۱۳ خط انتقال هم‌محور (در بسامدهای متوسط)
۵۱۱	۴.۱.۱۳ خط انتقال دوسیمه (در بسامدهای بالا)
۵۱۲	۵.۱.۱۳ خط انتقال دوسیمه (در بسامدهای پایین)
۵۱۳	۶.۱.۱۳ خط انتقال ریزنوار (در بسامدهای پایین)
۵۱۶	۲.۱۳ طرز کار موجبر ساده
۵۲۰	۳.۱۳ تحلیل موج تخت در موجبر صفحه - موازی
۵۲۹	۴.۱۳ تحلیل موجبر صفحه - موازی با استفاده از معادله موج
۵۳۳	۵.۱۳ موجبرهای مکعب مستطیلی
۵۳۳	۱.۵.۱۳ استفاده از معادلات ماکسول برای ربط دادن مؤلفه‌های میدان به یکدیگر
۵۳۵	۲.۵.۱۳ مدهای TM
۵۳۸	۳.۵.۱۳ مدهای TE
۵۴۰	۴.۵.۱۳ شرایط قطع
۵۴۱	۵.۵.۱۳ حالت‌های ویژه: TE_{op} و TE_{mo}
۵۴۵	۶.۱۳ موجبرهای دی‌الکتریک تخت
۵۵۳	۷.۱۳ فیبر نوری
۵۶۳	مسئله‌ها
۵۶۷	مراجع

۵۶۹	فصل ۱۴. تابش الکترومغناطیسی و آنتن‌ها
۵۶۹	۱.۱۴ اصول اساسی تابش: دوقطبی هرتزی
۵۷۶	۲.۱۴ ویژگی‌های آنتن‌ها
۵۸۲	۳.۱۴ دوقطبی مغناطیسی

۵۸۴	.....	۴.۱۴ آنتن‌های سیم باریک
۵۹۳	.....	۵.۱۴ آرایه‌های دو عنصری
۵۹۷	.....	۶.۱۴ آرایه‌های خطی یکنواخت
۶۰۱	.....	۷.۱۴ آنتن‌های گیرنده
۶۰۸	.....	مسئله‌ها
۶۱۳	.....	مراجع
۶۱۵	.....	پیوست الف. آنالیز برداری
۶۱۵	.....	الف. ۱. مختصات خمیده عمومی
۶۱۶	.....	الف. ۲. دیورژانس، گرادیان، و کرل در دستگاه مختصات خمیده عمومی
۶۱۹	.....	الف. ۳. اتحادهای برداری
۶۲۰	.....	پیوست ب. یکاها
۶۲۶	.....	پیوست پ. ثابت‌های مواد
۶۳۰	.....	پیوست ت. قضیهٔ یکتایی
۶۳۳	.....	پیوست ث. منشاء گذردهی الکتریکی مختلط
۶۴۱	.....	پیوست ج. پاسخ مسائل فرد
۶۴۱	.....	فصل ۱
۶۴۲	.....	فصل ۲
۶۴۲	.....	فصل ۳
۶۴۳	.....	فصل ۴
۶۴۳	.....	فصل ۵
۶۴۴	.....	فصل ۶
۶۴۵	.....	فصل ۷
۶۴۶	.....	فصل ۸
۶۴۷	.....	فصل ۹
۶۴۸	.....	فصل ۱۰
۶۴۹	.....	فصل ۱۱
۶۵۰	.....	فصل ۱۲
۶۵۰	.....	فصل ۱۳
۶۵۱	.....	فصل ۱۴