

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات سیستم

# تخصیص منابع در شبکه‌های بی سیم نسل پنجم مبتنی بر وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین

نگارنده: سیده ریحانه شاه چراغ

استاد راهنما

دکتر محمد رضا جوان

تیر ماه ۱۳۹۷

شماره ۲۰۱۵۷۵  
تاریخ: ۹۷/۴/۲۳

باسمه تعالی



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای سیده ریحانه شاه چراغ با شماره دانشجویی ۹۴۱۰۰۰۴ رشته مهندسی برق- مخابرات گرایش سیستم تحت عنوان: تخصیص منابع در شبکه های بیسیم نسل پنجم مبتنی بر وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین که در تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> قبول (با درجه: .....)	<input type="checkbox"/> مردود
<input checked="" type="checkbox"/> نظری	<input type="checkbox"/> عملی
نوع تحقیق:	

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	محمد علی جلالی	۱- استاد راهنمای اول
—	—	—	۲- استاد راهنمای دوم
	—	—	۳- استاد مشاور
	استاد	ولید - شایخ	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استاد	سید رضا سررشته	۵- استاد ممتحن اول
	استاد	سید محمد مرزبان	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:  
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

## تقدیم

به یزدان پاک که آفرید جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

به پدر و مادر عزیزم که در سختی ها و دشواری های زندگی، همواره یاورمی دلسوز و فداکار و

پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده اند.

## تقدیر و شکر

از استاد محترم، جناب آقای دکتر محمد رضا جوان که صبورانه و مشتاقانه مراد را انجام این  
پایان نامه یاری نمودند و در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی از بیچ کلمی در این عرصه  
بر من دریغ ننمودند، کمال شکر و سپاس گزار می رادارم.

# تعمدنامه

اینجانب سیده ریحانه شاه چراغ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق مخابرات سیستم دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تخصیص منابع در شبکه های بی سیم نسل پنجم مبتنی بر وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین تحت راهنمایی جناب آقای دکتر جوان متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۹۷/۴/۲۳

امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

# چکیده

در این پایان نامه از UAV به عنوان رله در نسل پنجم استفاده شده است. هدف این سیستم پیشینه سازی اطلاعات ارسالی توسط فرستنده به دو گیرنده می باشد. ارسال سیگنال هم در کانال های تحت دید مستقیم و هم در کانال های تحت دید غیر مستقیم بر اساس احتمال آن ها و با تکنیک TDMA انجام می شود. فرستنده از باتری جهت ارسال سیگنال به رله و رله نیز از تکنیک برداشت انرژی جهت ارسال سیگنال به گیرنده ها استفاده می کند. رله با تکنیک دسترسی چندگانه غیر متعامد و تکنیک امنیت لایه فیزیکی به صورت همزمان به گیرنده ها سیگنال ارسال می کند. حل مسائل مطرح شده در این پایان نامه با روش SCA و شبیه سازی این پایان نامه با CVX انجام شده است. نتایج شبیه سازی این پایان نامه نشان می دهد که میزان پیشینه ی اطلاعات ارسالی از فرستنده به گیرنده ها، هنگامی که ارسال سیگنال از رله به دو گیرنده با تکنیک دسترسی چندگانه غیر متعامد انجام می شود، نسبت به زمانی که ارسال سیگنال از رله به دو گیرنده با تکنیک دسترسی چندگانه متعامد انجام می شود، بالاتر می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که میزان برونده ی با افزایش ارتفاع UAV کاهش، با افزایش میزان برداشت انرژی افزایش و با افزایش سرعت حرکت UAV کاهش می یابد. با مقایسه حل مسئله به روش SCA و حل به روش جستجوی فراگیر مشخص می شود جواب روش حل این پایان نامه به جواب بهینه که از روش جستجوی فراگیر به دست می آید نزدیک می باشد.

**کلمات کلیدی:** دسترسی چندگانه غیر متعامد، دسترسی چندگانه متعامد، امنیت لایه فیزیکی،

برداشت انرژی

# فهرست مطالب

ی	فهرست شکل‌ها
۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱ پیشگفتار.....
۵	۲-۱ اهداف پایان‌نامه.....
۷	۳-۱ ساختار پایان‌نامه.....
۹	فصل ۲: مفاهیم پایه و پژوهش‌های پیشین
۱۰	۱-۲ مقدمه.....
۱۰	۲-۲ مفاهیم پایه.....
۱۰	۱-۲-۲ بررسی احتمال وجود کانال در دید مستقیم بین یک UAV و یک کاربر.....
۱۲	۲-۲-۲ مدلسازی احتمال دید مستقیم.....
۱۳	۳-۲-۲ مدل‌های افت مسیر کانال‌های هوا به زمین.....
۱۴	۴-۲-۲ تکنیک دسترسی چندگانه غیر متعامد.....
۱۵	۵-۲-۲ تکنیک امنیت لایه فیزیکی.....
۱۶	۶-۲-۲ تکنیک برداشت انرژی.....
۱۹	۳-۲ مروری بر کارهای انجام شده در زمینه استفاده از UAV.....
۳۵	فصل ۳: کارهای انجام شده در پایان‌نامه و نتایج شبیه‌سازی
۳۶	۱-۳ بخش اول: تخصیص منابع به منظور حفظ امنیت در شبکه‌های مبتنی بر UAV.....
۳۶	۱-۱-۳ سیستم مدل پیشنهادی.....



۴۱	۲-۱-۳ فرمول بندی و حل مسئله
۴۶	۳-۱-۳ نتایج شبیه سازی
۵۹	۲-۳ بخش دوم: تخصیص منابع بدون در نظر گرفتن بحث امنیتی
۵۹	۱-۲-۳ سیستم مدل پیشنهادی
۶۱	۲-۲-۳ فرمول بندی و حل مسئله
۶۸	۳-۲-۳ نتیجه شبیه سازی
۶۹	۴-۲-۳ مقایسه حل سیستم مدل اول با روش SCA و حل با روش جستجوی فراگیر
۷۱	<b>فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها</b>
۷۲	۱-۴ جمع بندی و نتیجه گیری
۷۳	۲-۴ پیشنهادهایی برای پژوهش های آینده
۷۴	<b>مراجع</b>
۷۸	<b>فهرست اختصارات</b>
۷۹	<b>واژه نامه انگلیسی به فارسی</b>
۸۰	<b>واژه نامه فارسی به انگلیسی</b>

# فهرست شکل‌ها

- شکل (۲-۱): انتشار سیگنال رادیویی در محیط شهری [۹]..... ۱۱
- شکل (۲-۲): شبکه تک رله همراه با تکنیک برداشت انرژی [۱۷]..... ۱۷
- شکل (۲-۳): سیستم مدل شامل تعدادی UAV و تعدادی دستگاه از نوع ماشین [۱۸]..... ۲۰
- شکل (۲-۴): سیستم مدل به صورت شبکه‌ی دو لایه‌ای بی‌سیم [۱۹]..... ۲۲
- شکل (۲-۵): سیستم مدل شامل L عدد IoT درون یک ناحیه‌ی جغرافیایی و K عدد UAV [۲۰]..... ۲۳
- شکل (۲-۶): ناحیه پوشش‌دهی مربوط به یک DSC [۲۱]..... ۲۵
- شکل (۲-۷): ناحیه پوشش‌دهی دو DSC بدون حضور تداخل [۲۱]..... ۲۵
- شکل (۲-۸): ناحیه پوشش‌دهی دو DSC در حضور تداخل [۲۱]..... ۲۵
- شکل (۲-۹): سیستم مدل شامل یک گرهی مبدأ و یک گرهی مقصد و یک رله [۲۲]..... ۲۶
- شکل (۲-۱۰): سیستم مدل یک شبکه بی‌سیم شامل M عدد UAV و تعدادی کاربر [۲۳]..... ۲۸
- شکل (۲-۱۱): سیستم مدل شامل یک گرهی مبدأ و یک گرهی مقصد و یک رله [۲۴]..... ۲۹
- شکل (۲-۱۲): سیستم مدل شامل یک UAV و تعداد زیادی کاربر روی یک خط مستقیم [۲۶]..... ۳۱
- شکل (۳-۱): سیستم بررسی شده شامل یک فرستنده و دو گیرنده و یک رله..... ۳۷
- شکل (۳-۲): بیشینه بروندهی..... ۴۸
- شکل (۳-۳): میزان اطلاعات ارسالی از فرستنده به رله..... ۴۸
- شکل (۳-۴): میزان اطلاعات ارسالی از رله به گیرنده‌ها..... ۴۹
- شکل (۳-۵): اطلاعات امن برای گیرنده اول..... ۵۱
- شکل (۳-۶): اطلاعات امن برای گیرنده دوم..... ۵۱
- شکل (۳-۷): اطلاعات غیر امن در گیرنده اول..... ۵۳
- شکل (۳-۸): اطلاعات غیر امن در گیرنده دوم..... ۵۳

- شکل (۳-۹): میزان اطلاعات امن به کل اطلاعات..... ۵۴
- شکل (۳-۱۰): انرژی مصرفی در فرستنده..... ۵۶
- شکل (۳-۱۱): انرژی مصرفی در رله..... ۵۷
- شکل (۳-۱۳): میزان بروندهی بر حسب ارتفاع بر اساس سرعت‌های متفاوت..... ۵۹
- شکل (۳-۱۴): بیشینه بروندهی برای تکنیک NOMA و OMA بر حسب ارتفاع..... ۶۸
- شکل (۳-۱۵): بیشینه بروندهی برای تکنیک NOMA با روش SCA و جستجوی فراگیر..... ۷۰



# فصل ۱: مقدمه

## ۱-۱ پیشگفتار

وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین<sup>۱</sup> (UAV) که به آنها پهپاد و یا هواپیماهای کنترل از راه دور گفته می‌شود، با داشتن پویایی بالا و هزینه‌ی پایین در چند دهه‌ی اخیر در کاربردهای گسترده‌ای استفاده شده‌اند. در گذشته UAVها در جنگ به خصوص در قلمرو دشمن برای کاهش تلفات خلبانها استفاده می‌شد و در حال حاضر با کاهش پیوسته قیمت‌ها و کوچک سازی ابزارها، UAVهای کوچک (به طور مثال با وزن کمتر از بیست و پنج کیلوگرم) به راحتی قابل دسترس هستند و کاربردهای زیادی در حوزه‌های تجاری و غیر نظامی دارند. تعدادی از این کاربردها عبارتند از: نظارت بر آب و هوا، کشف آتش سوزی در جنگل‌ها، جست و جوهای اورژانسی، عملیات امداد و نجات، تقویت ارتباطات مخابرات.

به طور کلی UAVها را به دو دسته بال ثابت و بال گردان تقسیم‌بندی می‌کنند که هر کدام نقاط ضعف و قوت خود را دارند. UAVها با بال ثابت دارای ظرفیت باربری زیاد و سرعت بالا هستند و باید پیوسته به حرکت مستقیم خود ادامه دهند تا در هوا باقی بمانند به همین دلیل برای بررسی و جست و جو از راه نزدیک مناسب نمی‌باشند. در مقابل UAVها با بال گردان مانند کوادکوپترها اگر چه دارای تحرک پذیری و ظرفیت باربری محدود هستند ولی می‌توانند در هر جهتی حرکت کنند و حتی بی حرکت در هوا باقی بمانند ولی نسبت به نوع بال ثابت آن با اندازه‌ی مشابه مصرف انرژی بالایی دارند در نتیجه باید به صورت مرتب شارژ شوند، بنابراین انتخاب UAVها متناسب با کاربردهایشان می‌باشد.

استفاده از UAVها برای دست یافتن به ارتباطات بی‌سیم با سرعت بالا نقش مهمی را در سیستم‌های مخابراتی آینده بازی می‌کند. باید یادآور شد که در کنار UAVها راه حل دیگری نیز برای

---

<sup>۱</sup> Unmanned Aerial Vehicles

ایجاد ارتباط بی‌سیم وجود دارد و آن از طریق تجهیزات و سکوه‌های واقع در ارتفاع بالا<sup>۱</sup> (HAP) مانند بالون‌ها است که معمولاً در لایه‌ی استراتوسفر که ده‌ها کیلومتر بالای سطح زمین است، فعالیت می‌کنند. مخابرات بر مبنای HAP نسبت به مخابرات بر مبنای سکوه‌های با ارتفاع کم<sup>۲</sup> (LAP) دارای مزیت‌هایی مانند پوشش‌دهی وسیع‌تر می‌باشد. با این حال مخابرات بی‌سیم مبتنی بر LAP نیز مزیت‌های خاص خود را دارد. اول آنکه استفاده از UAV بسیار مقرون به صرفه بوده و می‌تواند به سرعت مورد استفاده قرار گیرند. این ویژگی سبب می‌شود تا از آن‌ها در مأموریت‌های غیر منتظره و یا دارای زمان محدود استفاده شود. علاوه بر این با استفاده از UAV لینک‌های مخابراتی تحت دید مستقیم<sup>۳</sup> (LoS) با برد محدود ایجاد خواهد شد که کارایی سیستم را بالا می‌برد، همچنین توانایی حرکت سریع و مانوردهی UAV سبب می‌شود تا بهترین مکان و حالت UAV متناسب با شرایط محیطی تعیین شود. برای نمونه زمانی که UAV دارای کانال ارتباطی خوبی با کاربران روی زمین است می‌تواند سرعت خود را کم کند تا از کانال ارتباطی خوب ایجاد شده مدت زمان بیشتری اسفاده کند. همچنین استفاده از UAV یک راه حل نویدبخش برای ایجاد ارتباط بی‌سیم در مواردی که زیرساخت‌های مناسب پوشش‌دهی و سرویس‌دهی وجود ندارد، می‌باشد. این موارد می‌تواند شامل نواحی کوهستانی، نواحی با محوشوندگی شدید و یا نواحی که زیرساخت‌های آن در اثر حوادث طبیعی مانند زلزله دچار آسیب شده‌اند، باشد [۱، ۲].

امروزه ترافیک اینترنت جهانی به سرعت در حال رشد می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود این روند تا سال ۲۰۲۱ با نرخ ۲۴ درصد در سال افزایش یابد. همچنین پیش‌بینی می‌شود سهم ترافیک اینترنت در مخابرات بی‌سیم ۶۳ درصد و در مخابرات سیمی ۳۷ درصد باشد [۳]. با توجه به افزایش تقاضا برای نرخ داده‌های بالاتر در مخابرات بی‌سیم و ضرورت وجود اینترنت اشیا<sup>۴</sup> (IoT) پیش‌بینی می‌شود که

---

<sup>۱</sup> High Altitude Platforms

<sup>۲</sup> Low Altitude Platforms

<sup>۳</sup> Line of Sight

<sup>۴</sup> Internet of Things

شبکه‌های نسل چهارم<sup>۱</sup> (4G) مخابرات پاسخ‌گوی تقاضا برای مخابرات بی‌سیم در سال ۲۰۲۰ نباشد. به این منظور مهندسان باید تکنولوژی را ایجاد کنند که قابلیت پاسخ‌گویی به نیازهای سال‌های آینده را داشته باشد بنابراین نسل پنجم مخابرات باید قابلیت‌هایی فراتر از نسل چهارم داشته باشد. انتظار می‌رود که سیستم نسل پنجم مخابرات تا سال ۲۰۲۰ مورد استفاده قرار گیرد. به این منظور یک سری ملزومات برای شبکه‌های نسل پنجم تعریف شده است که برخی از آن‌ها عبارتند از: پشتیبانی از نرخ حدود ۱۰۰۰ برابری ترافیک شبکه نسبت به نسل چهارم، کاهش میزان تأخیر از ۱۵ میلی ثانیه در نسل چهارم به ۱ میلی ثانیه در نسل پنجم، پشتیبانی از افزایش چشمگیر تعداد ابزارهای مرتبط با یکدیگر به میزان چند ده تا صد برابر، افزایش قابلیت اطمینان و در دسترس بودن شبکه، کاهش حدود نود درصدی مصرف انرژی نسبت به نسل چهارم، پوشش‌دهی وسیع‌تر، صد برابر شدن نرخ داده کاربر، ده برابر طولانی‌تر شدن عمر باتری.

برای دست یافتن به ملزومات شبکه‌های نسل پنجم راه‌های متفاوتی وجود دارد از جمله استفاده از فناوری‌های چند ورودی چند خروجی<sup>۲</sup> (MIMO)، UAV، تقسیم طیف با استفاده از تکنیک‌های رادیو شناختی<sup>۳</sup>، تکنیک موج میلی‌متری<sup>۴</sup>، تکنیک دستگاه به دستگاه<sup>۵</sup> (D2D) و مدیریت طیف<sup>۶</sup>.

بنابراین با استفاده از UAVها به عنوان قسمتی از شبکه‌های بی‌سیم می‌توان به برخی از ویژگی‌های شبکه‌های نسل پنجم دست یافت. با کاهش اندازه‌ی UAVها می‌توان از آن‌ها به عنوان رله در شبکه‌های نسل پنجم برای بهبود کانال ارتباطی، پوشش‌دهی بیشتر کاربران زمینی، فراهم آوردن تعداد بیشتر لینک‌های ارتباطی LOS، کم کردن محوشوندگی و قطع و کم کردن توان ارسال به دلیل نزدیکی بیشتر به کاربران زمینی استفاده کرد. هنگامی که امکان ارسال مستقیم اطلاعات بین گره

---

<sup>۱</sup> Fourth Generation

<sup>۲</sup> Multiple Input/Multiple Output

<sup>۳</sup> Spectrum Sharing Using Cognitive Radio Techniques

<sup>۴</sup> Millimeter Wave

<sup>۵</sup> Device-2-Device Communication

<sup>۶</sup> Spectrum Management



مبدأ و گرهی مقصد وجود نداشته باشد و یا لینک مخابراتی بین آن‌ها ضعیف باشد می‌توان از یک واسط به عنوان رله برای ارسال اطلاعات از گرهی مبدأ به گرهی مقصد استفاده نمود. استفاده از UAV به عنوان رله در شبکه‌های مخابراتی سبب گسترش شبکه‌های بی‌سیم می‌شود.

UAVها نقش کلیدی در تکنولوژی IoT ایفا می‌کنند. تکنولوژی IoT ترکیبی از دستگاه‌هایی کوچک با باتری محدود مانند سنسورها است. این دستگاه‌ها به دلیل محدودیت‌های انرژی نمی‌توانند داده را به فواصل دور ارسال کنند. UAVها به صورت پویا می‌توانند به سمت دستگاه‌های IoT حرکت کنند و داده‌های IoT را جمع‌آوری نمایند و آن‌ها را به دستگاه‌هایی که خارج از محدوده‌ی مجاز دستگاه‌های IoT می‌باشند، ارسال کنند [۴-۸].

## ۲-۱ اهداف پایان‌نامه

در این پایان‌نامه از UAV به عنوان رله در نسل پنجم استفاده شده است. UAV بین فرستنده و دو گیرنده با سرعت ثابت روی خط راست از فرستنده به سمت گیرنده‌ها حرکت می‌کند. ارسال سیگنال در دو فاز انجام می‌شود. در فاز اول فرستنده اطلاعات را به رله ارسال می‌کند و در فاز دوم رله اطلاعات دریافتی از فرستنده را به دو گیرنده ارسال می‌کند. هدف این سیستم مدل پیشنهادی برای ارسال از فرستنده به دو گیرنده می‌باشد. نوآوری این پایان‌نامه سیستم مدل‌های پیشنهادی می‌باشد به طوری- که تاکنون هیچ سیستم مدل دیگری به این صورت دیده نشده است.

در این سیستم مدل کانال به صورت کلی در نظر گرفته شده است یعنی سیگنال هم در کانال‌های LoS و هم در کانال‌های تحت دید غیر مستقیم<sup>۱</sup> (NLoS) بر اساس احتمال LoS و NLoS بودن کانال ارسال می‌شود در حالی که در سایر سیستم مدل‌های دیده شده ارسال سیگنال تنها در کانال‌های LoS انجام شده است. برای فاز اول از باتری و برای فاز دوم از تکنیک برداشت انرژی جهت انرژی مورد نیاز

---

<sup>۱</sup> Non-Line of Sight

ارسال سیگنال استفاده شده است، همچنین از فناوری دسترسی چندگانه غیر متعامد<sup>۱</sup> (NOMA) برای ارسال سیگنال از UAV به دو گیرنده استفاده شده است که در اکثر سایر سیستم مدل‌های مخابراتی که از UAV استفاده شده است به این صورت نبوده است. اساس کار NOMA این است که هنگام ارسال سیگنال به دو کاربر، کاربر با کانال بهتر سیگنال کاربر دیگر را کدگشایی می‌کند و بر این اساس رابطه‌های سیگنال به نویز نوشته می‌شود. همچنین از فناوری امنیت لایه فیزیکی<sup>۲</sup> نیز استفاده شده است. هنگامی از این تکنیک استفاده می‌شود که امنیت ارسال اطلاعات مهم باشد و باید اطلاعات بدون آنکه توسط شنودگرها کدگشایی شوند، فرستاده شوند. بر این اساس در این پایان‌نامه نرخ امن<sup>۳</sup> و نرخ غیر امن<sup>۴</sup> و نرخ کل در سمت گیرنده‌ها محاسبه می‌گردد. از آنجا که مسئله مطرح شده محدب نیست برای حل آن ابتدا آن را با استفاده از روش تقریب متوالی محدب<sup>۵</sup> (SCA) به یک مسئله محدب تبدیل نمودیم و سپس با CVX آن را شبیه‌سازی نمودیم.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع میزان برون‌دهی کاهش، با افزایش میزان برداشت انرژی برون‌دهی افزایش و با افزایش سرعت حرکت UAV برون‌دهی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع میزان اطلاعات امن برای هر دو گیرنده کاهش و میزان اطلاعات غیر امن برای هر دو گیرنده ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. به علاوه بر اساس نتایج شبیه‌سازی هنگامی که اطلاعات ارسالی تنها شامل اطلاعات غیر امن است، زمانی که ارسال سیگنال از رله به دو گیرنده با تکنیک NOMA انجام می‌گیرد میزان برون‌دهی از حالتی که ارسال سیگنال از رله به دو گیرنده با تکنیک دسترسی چندگانه متعامد<sup>۶</sup> (OMA) انجام می‌شود بیشتر می‌باشد. در هر دو حالت میزان برون‌دهی با افزایش ارتفاع کاهش و با افزایش برداشت انرژی افزایش می‌یابد. هنگامی اطلاعات تنها شامل اطلاعات غیر امن می‌باشد و

---

<sup>۱</sup> Non-Orthogonal Multiple Access

<sup>۲</sup> Physical-Layer Security

<sup>۳</sup> Secrecy Rate

<sup>۴</sup> Non-Secrecy Rate

<sup>۵</sup> Successive Convex Approximation

<sup>۶</sup> Orthogonal Multiple Access

ارسال سیگنال توسط رله با تکنیک NOMA انجام می‌گیرد، مسئله هم با روش SCA و هم با روش جستجوی فراگیر انجام شده است که شبیه‌سازی نشان می‌دهد که جواب روش حل از طریق SCA در پایان‌نامه به جواب بهینه که توسط روش جستجوی فراگیر به دست آمده است، نزدیک می‌باشد.

## ۱-۳ ساختار پایان‌نامه

**در فصل دوم (مفاهیم پایه و مرور پژوهش‌های پیشین)** پیش‌زمینه‌های مورد نیاز جهت درک بهتر مفاهیم و تکنیک‌های استفاده شده در این پایان‌نامه بیان می‌شود. تکنیک‌های دسترسی چندگانه غیر متعامد (NOMA) و امنیت لایه‌ی فیزیکی<sup>۱</sup> و برداشت انرژی<sup>۲</sup> در این فصل توضیح داده می‌شود سپس در ادامه به مرور پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌های مورد بحث و اصلی مورد مطالعه در این پایان‌نامه خواهیم پرداخت.

**در فصل سوم (کارهای انجام شده در پایان‌نامه و نتایج شبیه‌سازی)** یک شبکه‌ی مخابراتی شامل یک فرستنده، یک رله و دو گیرنده را در نظر می‌گیریم. از یک UAV به عنوان رله‌ی DF در نسل پنجم استفاده می‌کنیم که در ارتفاع ثابت H و با سرعت ثابت V در مسیری مستقیم از فرستنده به سمت دو گیرنده حرکت می‌کند. هدف این سیستم مدل پیشینه‌سازی اطلاعات ارسالی از فرستنده به دو گیرنده می‌باشد. در بخش اول این فصل فرض می‌شود اطلاعات ارسالی هم شامل اطلاعات امن و هم اطلاعات غیر امن می‌باشد و رله اطلاعات را با استفاده از تکنیک NOMA برای دو گیرنده ارسال می‌نماید و با استفاده از تکنیک برداشت انرژی از محیط، انرژی مورد نیاز ارسال سیگنال را تعمیم می‌کند. در بخش دوم این فصل فرض می‌شود که اطلاعات ارسالی تنها شامل اطلاعات غیر امن می‌باشد و ارسال سیگنال توسط رله به دو گیرنده یک بار با تکنیک NOMA و بار دوم با تکنیک OMA انجام می‌شود و عملکرد این دو حالت با هم مقایسه می‌شود. در نهایت نیز در حالتی که از

---

<sup>۱</sup> Physical-Layer Security

<sup>۲</sup> Energy- Harvesting

تکنیک NOMA و اطلاعات غیر امن استفاده شده است مسئله یک بار با روش SCA و بار دیگر به روش جستجوی فراگیر شبیه‌سازی شده است و این دو روش حل با هم مقایسه گردیده‌اند.

**در فصل چهارم (نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده) به جمع‌بندی نتایج**

و ارائه پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده خواهیم پرداخت.

## فصل ۲: معادله‌ی پاره و پژوهش‌های پیشین

## ۱-۲ مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی مفاهیم پایه از جمله انواع مدل‌های کانال و همچنین تکنیک‌های دسترسی چندگانه غیر متعامد<sup>۱</sup> (NOMA)، امنیت لایه‌ی فیزیکی<sup>۲</sup>، برداشت انرژی<sup>۳</sup> و نیز مفهوم رله در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم خواهیم پرداخت. در انتهای این فصل نیز مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌های استفاده از UAV و تخصیص منابع در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم خواهیم داشت.

## ۲-۲ مفاهیم پایه

### ۱-۲-۲ بررسی احتمال وجود کانال در دید مستقیم بین یک UAV و

#### یک کاربر

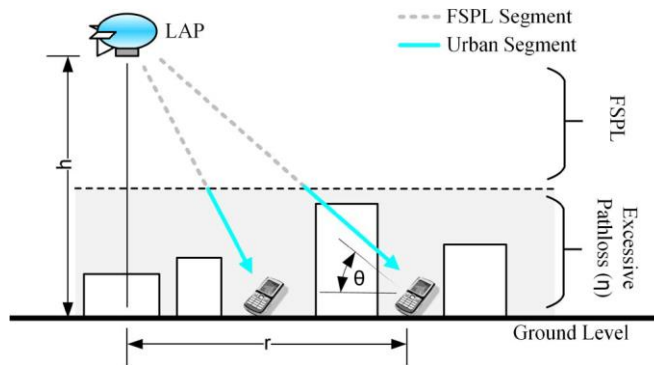
شکل (۱-۲) انتشار سیگنال‌های رادیویی در محیط شهری را نشان می‌دهد. در واقع سیگنال‌های رادیویی منتشر شده توسط ایستگاه پایه‌ی UAV در فضای آزاد منتشر می‌شوند تا به محیط شهری برسند. در محیط شهری به دلیل ساختارهای ساخت بشر گرفتار سایه افکنی و پراکندگی می‌شوند در نتیجه علاوه بر افت مسیر فضای آزاد گرفتار افت مسیر دیگری با توزیع گوسی می‌شوند که معمولاً مقدار میانگین این افت به جای مقدار تصادفی‌اش استفاده می‌شود.  $\eta$  مقدار میانگین افت مسیر اضافی است.

---

<sup>۱</sup> Non-Orthogonal Multiple Access

<sup>۲</sup> Physical-Layer Security

<sup>۳</sup> Energy-Harvesting



شکل (۱-۲): انتشار سیگنال رادیویی در محیط شهری [۹]

کانال ارتباطی بین UAV و کاربر، کانال هوا به زمین<sup>۱</sup> (ATG) می‌باشد. میانگین افت مسیر کانال هوا به زمین به صورت زیر است:

$$PL_{\xi} = FSPL + \eta_{\xi} \quad (1-2)$$

در رابطه‌ی (۱-۲)،  $FSPL$  بیان‌کننده‌ی افت مسیر فضای آزاد در کانال ارتباطی بین UAV و گیرنده‌ی زمینی،  $\xi$  بیانگر گروه‌های انتشاری و  $\eta_{\xi}$  افت مسیر اضافی در گروه انتشاری  $\xi$  است. تخمین فضایی افت مسیر ( $\Lambda$ ) بین UAV و گیرنده‌ی زمینی که با زاویه  $\theta$  نسبت به UAV با سطح افق قرار دارد به صورت زیر است:

$$\Lambda = \sum_{\xi} PL_{\xi} \cdot p(\xi, \theta) \quad (2-2)$$

در رابطه‌ی (۲-۲)،  $p(\xi, \theta)$  بیانگر احتمال رخداد گروه انتشاری خاص  $\xi$  است که شدیداً به زاویه‌ی  $\theta$  وابسته می‌باشد. گروه‌های انتشاری نیز به صورت  $\xi \in \{\text{LoS}, \text{NLoS}\}$  هستند. رابطه‌ی بین احتمال‌های رخداد این دو گروه انتشاری نیز به صورت زیر است [۹]:

$$p(\text{NLoS}, \theta) = 1 - p(\text{LoS}, \theta) \quad (3-2)$$

<sup>۱</sup> Air-to-Ground

## ۲-۲-۲ مدل سازی احتمال دید مستقیم

اتحادیه‌ی بین المللی ارتباطات دوربرد<sup>۱</sup> (ITU) یک روش با ارزش برای یافتن احتمال دید مستقیم بین یک فرستنده‌ی زمینی در ارتفاع  $h_{TX}$  و یک گیرنده در ارتفاع  $h_{RX}$  در یک محیط شهری پیشنهاد داده‌اند. این احتمال به سه پارامتر آماری مرتبط با محیط شهری وابسته است.

- پارامتر  $\alpha$ : نسبت نواحی ساخته شده به کل نواحی
- پارامتر  $\beta$ : تعداد ساختمان‌های ساخته شده در واحد مساحت
- پارامتر  $\gamma$ : پارامتری است که توزیع ارتفاع ساختمان‌ها را براساس تابع چگالی احتمالی رایلی نشان می‌دهد.

$$f(H) = \left(\frac{H}{\gamma^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\gamma^2}\right) \quad (۴-۲)$$

$$m = \text{floor}(r\sqrt{\alpha\beta} - 1) \quad (۵-۲)$$

$$P_{\text{LoS}}(\theta) = \prod_{n=0}^m \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\left[h_{TX} - \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot (h_{TX} - h_{RX})}{m+1}\right]^2}{2\gamma^2}\right) \right] \quad (۶-۲)$$

که  $r$  در رابطه‌ی (۶-۲) فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده است. معمولاً  $h_{RX}$  نسبت به میانگین ارتفاع ساختمان‌ها و ارتفاع UAV خیلی کوچک‌تر است که از آن صرف نظر می‌شود در این صورت فاصله‌ی زمینی بین فرستنده و گیرنده به صورت زیر است:

$$r = h / \tan(\theta) \quad (۷-۲)$$

<sup>۱</sup> Intentional Telecommunication Union



$h$  در رابطه‌ی (۷-۲) ارتفاع UAV می‌باشد. با رسم رابطه‌ی (۶-۲) برای  $h$  های بالا منحنی نرمی به دست می‌آید که تابعی پیوسته از  $\theta$  و پارامترهای محیط است به طوری که می‌توان آن را به صورت منحنی  $S$  به شکل زیر تقریب زد [۹]:

$$p_{LoS}(\theta) = \frac{1}{1 + a \exp(-b[\theta - a])} \quad (۸-۲)$$

در رابطه‌ی (۸-۲)،  $a$  و  $b$  پارامترهای منحنی  $S$  می‌باشند که مقادیر ثابتی هستند که به فرکانس حامل و نوع محیط بستگی دارند [۱۰].

## ۳-۲-۲ مدل‌های افت مسیر کانال‌های هوا به زمین

الف) هنگامی که کانال ارتباطی بین فرستنده و گیرنده با احتمال بسیار بالا و در حد بسیار نزدیک به یک در دید مستقیم قرار داشته باشد، در این صورت می‌توان از احتمال بسیار ناچیز آنکه کانال تحت دید غیر مستقیم قرار داشته باشد چشم پوشی نمود. بهره‌ی کانال در این حالت به شکل زیر است [۱۱]:

$$g_{LoS} = \beta_0 \times d^{-\gamma} \quad (۹-۲)$$

در رابطه‌ی (۹-۲)،  $d$  فاصله‌ی بین آنتن فرستنده و گیرنده،  $\beta_0$  مرجع بهره توان کانال در فاصله یک متر و  $\gamma$  نیز مؤلفه‌ی افت مسیر است.

ب) هنگامی که کانال ارتباطی بین فرستنده و گیرنده با احتمال بسیار بالا و در حد بسیار نزدیک به یک در دید غیر مستقیم قرار داشته باشد، در این صورت می‌توان از احتمال بسیار ناچیز آنکه کانال تحت دید مستقیم قرار داشته باشد چشم پوشی نمود. بهره‌ی کانال در این حالت به شکل زیر است:

$$g_{NLoS} = \eta \times \beta_0 \times d^{-\gamma} \quad (۱۰-۲)$$

در رابطه‌ی (۱۰-۲)،  $\eta$  فاکتور تضعیف اضافی به دلیل ارتباط در دید غیر مستقیم است.

ج) هنگامی که احتمال آنکه کانال در دید مستقیم قرار داشته باشد،  $p_{LoS}$  و احتمال آنکه کانال در دید غیر مستقیم قرار داشته باشد،  $p_{NLoS}$  باشد، آنگاه بهره‌ی کانال ترکیبی از دو حالت الف و ب می‌شود. بهره‌ی کانال در این حالت به صورت زیر است [۱۲]:

$$g = p_{LoS}(\theta) \times \beta_0 \times d^{-\gamma} + p_{NLoS}(\theta) \times \eta \times \beta_0 \times d^{-\gamma} \quad (11-2)$$

## ۴-۲-۲ تکنیک دسترسی چندگانه غیر متعامد

تکنیک دسترسی چندگانه‌ی غیر متعامد، تکنیکی بسیار موثر در شبکه‌های مخابراتی نسل پنجم است که سبب بالارفتن کارایی طیفی و ارتباطات انبوه می‌شود. این تکنیک حوزه‌ی توان را برای دسترسی چندگانه توسط ترکیب انطباق کدینگ در فرستنده و حذف موفق تداخل در گیرنده‌ها تعیین می‌کند. در حقیقت فرستنده می‌تواند اطلاعات را به صورت همزمان برای چندین گیرنده ارسال نماید. در واقع کاربری که بهره‌ی کانال بهتری دارد، می‌تواند سیگنال کاربران دیگر را که بهره کانال کمتری دارند، کدگشایی نماید و سپس آن‌ها را از سیگنال دریافتی حذف کند و در نهایت سیگنال خود را کدگشایی نماید. کاربرانی که بهره کانال کمتری دارند، اطلاعات سایر کاربران را به عنوان نویز دریافت می‌کنند. اگر در شبکه‌ای یک فرستنده و دو گیرنده داشته باشیم، با فرض آنکه کانال ارتباطی فرستنده با گیرنده‌ی اول بهتر باشد، نرخ‌های اطلاعات دریافتی در دو گیرنده به صورت زیر است:

$$r_1 = \log\left(1 + \frac{p_1 \times \eta_1}{N_1}\right) \quad (12-2)$$

$$r_2 = \log\left(1 + \frac{p_2 \times \eta_2}{N_2 + p_1 \times \eta_2}\right) \quad (13-2)$$

در دو رابطه‌ی (۱۲-۲) و (۱۳-۲)،  $r_1$  و  $r_2$  به ترتیب نرخ دریافتی گیرنده‌ی یک و نرخ دریافتی گیرنده‌ی دو،  $\eta_1$  و  $\eta_2$  نیز به ترتیب بهره‌ی کانال برای گیرنده‌ی یک و بهره‌ی کانال برای گیرنده‌ی دو و  $N_1$  و  $N_2$  نیز به ترتیب نویز در کانال یک و نویز در کانال دو می‌باشد [۱۳].

## ۲-۵-۲ تکنیک امنیت لایه فیزیکی

امنیت به دلیل ویژگی پراکندگی موج‌های رادیویی یک مسئله‌ی بسیار مهم در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم است. توجه به این تکنیک به دلیل افزایش تقاضا برای معامله‌های درون خط و اطلاعات شخصی رو به افزایش است. اطلاعات امن با استفاده از به کارگیری ظرفیت امن و تکنیک کدینگ اطلاعات می‌تواند بدون آنکه توسط شنودگرها کدگشایی شوند، فرستاده شوند. روش‌های سنتی مانند رمزنگاری، ارسال اطلاعات امن را بیشتر در لایه‌های بالاتر بر عهده می‌گیرد که دارای پیچیدگی محاسباتی بالایی است. در پشته پروتکل استاندارد لایه پنجم، رویکردهای امنیتی در هر لایه‌ای غیر از لایه فیزیکی انجام می‌شود، بنابراین امنیت لایه فیزیکی بسیار مهم می‌باشد. در این تکنیک دو نوع کاربر با توجه به تقاضاهای امنیتی‌شان وجود دارد. نوع اول به امنیت لایه فیزیکی نیازمند هستند و باید با نرخ امن مخالف صفر سرویس‌دهی شوند، این گروه کاربران امن<sup>۱</sup> (SU) نامیده می‌شوند. نوع دوم کاربران پیام‌های امن ندارند و به مسائل امنیتی توجهی ندارند، این گروه کاربران نرمال<sup>۲</sup> (NU) نامیده می‌شوند. هم کاربران امن و هم کاربران نرمال کاربران قانونی در شبکه هستند و به انتقال داده با ایستگاه پایه می‌پردازند. آن‌ها شرایط درست کانال را به ایستگاه پایه اطلاع می‌دهند. نرخ امن، تفاضل بین نرخ کانال اصلی و نرخ کانال شنودگر است و کانال شنودگر بیشترین بهره‌ی کانال بین کل شنودگرها را دارد. بنابراین نرخ امن غیر صفر زمانی ممکن است که بهره‌ی کانال اصلی بیشترین بهره را بین همه‌ی کاربران داشته باشد. البته زمانی که بهره کانال اصلی بیشترین بهره را در بین همه‌ی کاربران داشته باشد ممکن است از نظر سیستم باز هم بهینه نباشد که آن کانال به کاربر امنیتی تخصیص داده شود زیرا ممکن است نرخ امن به دست آمده کوچک باشد و ترجیح داده شود که آن کانال به کاربر نرمال تخصیص داده شود. رابطه‌های این تکنیک به صورت زیر است:

---

<sup>۱</sup> Secure Users

<sup>۲</sup> Normal Users

$$r_M = \log\left(1 + \frac{h_M \cdot p}{N}\right) \quad (14-2)$$

$$r_E = \log\left(1 + \frac{h_E \cdot p}{N}\right) \quad (15-2)$$

$$r_{\text{Secure}} = [r_M - r_E]^+ \quad (16-2)$$

$$[x]^+ = \max\{0, x\} \quad (17-2)$$

در رابطه‌های (۱۴-۲) تا (۱۷-۲)،  $h_M$  و  $h_E$  به ترتیب بهره کانال اصلی و بهره‌ی کانال شنودگر،  $p$  توان ارسالی،  $N$  توان نویز و  $r_M$ ،  $r_E$  و  $r_{\text{Secure}}$  به ترتیب نرخ کانال اصلی، نرخ کانال شنودگر و نرخ امن می‌باشد [۱۴، ۱۵].

## ۲-۲-۶ تکنیک برداشت انرژی

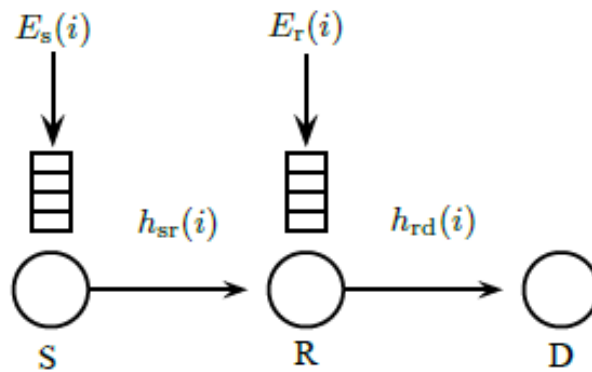
برداشت انرژی رویکردی برای فراهم آوردن شبکه‌های مخابراتی با منبع تغذیه پایدار است. در شبکه‌های مخابراتی همراه با برداشت انرژی گره‌ها توانایی دارند تا از محیط اطراف انرژی دریافت نمایند و در نتیجه از زمان پایایی بیشتری بهره ببرند. باتری قابل شارژ در یک فرستنده یا گیرنده‌ی مجهز به برداشت انرژی می‌تواند به عنوان منبع توان پشتیبان یا اولیه به کار گرفته شود. نکته‌ی مهم در بحث تکنیک برداشت انرژی آن است که انرژی در دسترس در هر لحظه اساساً یک متغیر تصادفی است. بنابراین باید سیاستی برای انتقال بهینه‌ی انرژی در دسترس متغیر با زمان، طراحی شود تا شبکه از این انرژی‌های تصادفی دریافتی در کارآمدترین راه بهره ببرد. تکنیک برداشت انرژی فرآیندی برای تبدیل انرژی موجود در محیط به انرژی الکتریکی قابل استفاده و ذخیره‌ی آن در یک واحد ذخیره سازی است. منبع برداشت انرژی می‌تواند انرژی خورشیدی یا نور، گرما و موج‌های رادیویی باشد. دستگاه‌های برداشت انرژی خورشیدی بالاترین سطح توان خروجی را نسبت به سایر منابع دارند. برداشت‌کننده‌های انرژی خورشیدی که به عنوان سلول‌های خورشیدی شناخته شده‌اند، نور را از خورشید یا از سایر منابع پرتو افکن به وسیله‌ی سلول‌های فوتوولتاییک به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. عملکرد این برداشت‌کننده‌های

انرژی خورشیدی به شرایط محیط وابسته است. تکنیک برداشت انرژی در سیستم‌های مخابراتی در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات در این زمینه به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) برون خط<sup>۱</sup>: در این نوع فرض می‌شود که مقدار برداشت انرژی به صورت غیر علی در هر لحظه قبل از شروع ارسال برای همه‌ی گره‌های شبکه معلوم است.

ب) درون خط<sup>۲</sup>: در این نوع فرض می‌شود که مقدار برداشت انرژی و اطلاعات فیدینگ کانال به صورت علی معلوم است. به عبارت دیگر، در هر لحظه اطلاعات قبلی و حال انرژی دریافتی و حالت‌های فیدینگ کانال در دسترس است.

ما حالت الف را بررسی می‌نماییم. اگر سیستم مدلی دارای یک فرستنده، یک گیرنده و یک رله باشد، در این صورت فرستنده و یا رله و یا هر دو می‌توانند از محیط انرژی برداشت نمایند. شکل (۲-۲) شامل یک شبکه‌ی دو فازی است که فرستنده و رله از تکنیک برداشت انرژی استفاده می‌کنند.



شکل (۲-۲): شبکه تک رله همراه با تکنیک برداشت انرژی [۱۷]

در این سیستم مدل، ارسال سیگنال در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله‌ی اول گره‌ی مبدأ (S) سیگنال پیام را با مصرف انرژی برداشت شده از محیط به رله (R) می‌فرستد و در مرحله‌ی دوم گره‌ی رله سیگنال دریافتی را با مصرف انرژی برداشت شده از محیط به گره‌ی مقصد (D) ارسال می‌کند.

<sup>۱</sup> Offline

<sup>۲</sup> Online

اگر تعداد بلوک‌های ارسال  $N$ ، توان سیگنال‌های ارسالی از گره‌ی مبدأ و رله به ترتیب  $p_s(i)$  و  $p_r(i)$ ، انرژی برداشتی توسط گره‌های مبدأ و رله در ابتدای بازه‌ی ارسال  $i$  ام به ترتیب  $E_s(i)$  و  $E_r(i)$ ، زمان ارسال سیگنال از فرستنده به رله و نیز از رله به گیرنده برابر  $T$  و انرژی ذخیره شده در ابتدای بلوک  $i$  ام در باتری فرستنده و رله به ترتیب  $B_s(i)$  و  $B_r(i)$  باشد. آنگاه محدودیت‌های زیر وجود دارند:

$$\sum_{i=1}^k p_s(i) \leq \frac{1}{T} \sum_{i=1}^k E_s(i), \quad \text{for } k = 1, \dots, N \quad (18-2)$$

$$\sum_{i=1}^k p_r(i) \leq \frac{1}{T} \sum_{i=1}^k E_r(i), \quad \text{for } k = 1, \dots, N \quad (19-2)$$

رابطه‌های (۱۸-۲) و (۱۹-۲) محدودیت‌های علی بودن مصرف انرژی را در فرستنده و رله بیان می‌کنند، یعنی مجموع توان‌های مصرفی در فرستنده و رله در انتهای هر مرحله به ترتیب باید از کل توان‌های برداشت شده توسط فرستنده و رله از محیط تا آن مرحله کمتر باشد. به دلیل آنکه فرستنده و رله ظرفیت محدودی برای ذخیره انرژی برداشت شده از محیط دارند، میزان انرژی ذخیره شده در فرستنده و رله در ابتدای ارسال  $i$  ام از روابط زیر پیروی می‌کند:

$$B_s(i) = f_s(B_s(i-1), p_s(i-1), E_s(i)) = \min\{B_s(i-1) - Tp_s(i-1) + E_s(i), B_s^{\max}\} \quad (20-2)$$

$$B_r(i) = f_r(B_r(i-1), p_r(i-1), E_r(i)) = \min\{B_r(i-1) - Tp_r(i-1) + E_r(i), B_r^{\max}\} \quad (21-2)$$

در دو رابطه‌ی (۲۰-۲) و (۲۱-۲)،  $B_s^{\max}$  و  $B_r^{\max}$  به ترتیب حداکثر ظرفیت ذخیره انرژی در فرستنده و رله است که اگر مقدار محدودی باشند ممکن است هنگام برداشت انرژی فضای کافی برای ذخیره انرژی جدید برداشت شده وجود نداشته باشد و سرریز رخ دهد و منجر به هدر رفت انرژی و کاهش طول عمر باتری گردد. برای جلوگیری از سرریز انرژی در منبع و رله دو شرط زیر باید برقرار باشد:

$$\sum_{i=1}^{k+1} E_s(i) - T \sum_{i=1}^k p_s(i) \leq B_s^{\max} \quad \text{for } k = 1, \dots, N-1 \quad (22-2)$$

$$\sum_{i=1}^{k+1} E_r(i) - T \sum_{i=1}^k p_r(i) \leq B_r^{\max} \quad \text{for } k = 1, \dots, N-1 \quad (23-2)$$

بر اساس دو رابطه‌ی (۲۲-۲) و (۲۳-۲) تفاضل مجموع انرژی‌های برداشتی تا مرحله‌ی  $k+1$  و انرژی‌های مصرفی تا مرحله  $k$  ام باید کمتر از میزان حداکثر انرژی باتری باشد تا سرریز انرژی رخ ندهد [۱۶, ۱۷].

## ۳-۲ مروری بر کارهای انجام شده در زمینه استفاده از UAV

مقاله‌ی [۱۸] که سیستم مدل آن در شکل (۳-۲) نمایش داده شده است، شامل تعدادی UAV و تعدادی دستگاه از نوع ماشین<sup>۱</sup> (MTD) می‌باشد. MTDها مجموعه‌ای از خوشه‌ها<sup>۲</sup> را تشکیل می‌دهند. در واقع هر چند عدد از این MTDها با هم کار می‌کنند و یک سیستم واحد به نام خوشه را تشکیل می‌دهند. در هر خوشه یکی از اعضا، رهبر خوشه<sup>۳</sup> (CH) می‌باشد که وظیفه دارد بسته‌های داده را از همه اعضای خود دریافت کند و به UAV ارسال نماید. هر یک از اعضای هر خوشه در هر بخش زمانی با احتمال  $p$  بسته‌ی داده‌اش را به CH خوشه‌ی خود ارسال می‌کند. UAVها به عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی برای جمع‌آوری داده از رهبران خوشه‌ها به کار گرفته شده‌اند. برای دسترسی چندگانه از OFDMA با  $Z$  بلوک خوشه منبع فرکانسی زمانی با پهنای باند  $Z$  استفاده شده است. منابع سیستم شامل بلوک‌های منبع اختصاص یافته به UAVها و توان ارسالی هر یک از CHها است. در هر خوشه صف بسته‌های داده شامل همه‌ی بسته‌های داده دریافتی از همه‌ی اعضای آن خوشه است. در این مقاله برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه‌ی منابع برای ارتباطات بین UAVها و CHها به گونه‌ای است که توان ارسالی از CHها در حالی که نرخ مورد نیاز دستگاه‌های ماشین به ماشین<sup>۴</sup> (M2M) حاصل می‌شود، کمینه می‌گردد. به این منظور ابتدا با استفاده از مفهوم نرخ پایایی صف،

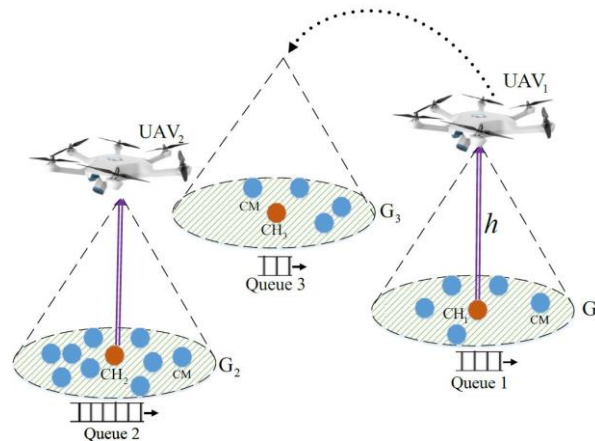
<sup>۱</sup> Machine Type Device

<sup>۲</sup> Clusters

<sup>۳</sup> Cluster Heads

<sup>۴</sup> Machine-to-Machine

تعداد کمینه UAVها و زمانی که هر UAV برای سرویس دهی به CHها باید ساکن بماند، محاسبه گردیده سپس تخصیص بهینه‌ی منابع برای ارتباطات CHها و UAVها طوری تعیین شده است که نرخ مورد نیاز دستگاه‌های M2M با حداقل توان ارسالی حاصل شود. نتایج شبیه‌سازی این مقاله نشان می‌دهد که با افزایش احتمال ارسال بسته از اعضای خوشه‌ها، حداقل تعداد UAVهای مورد نیاز که پایایی نرخ صف بسته‌های ارسالی به CHها را تضمین می‌کند، افزایش می‌یابد زیرا با افزایش احتمال ارسال بسته، میانگین نرخ بسته‌های دریافت شده در CHها افزایش خواهد یافت، بنابراین حداقل تعداد UAVهای مورد نیاز که پایایی نرخ صف را تضمین می‌کند، افزایش می‌یابد. به علاوه حداقل تعداد UAVهای مورد نیاز به اندازه هر خوشه نیز بستگی دارد. واضح است که برای خوشه‌های بزرگ‌تر تعداد UAVهای بیشتری مورد نیاز است. همچنین تعداد UAVها تابعی از تعداد خوشه‌ها می‌باشد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی با افزایش تعداد خوشه‌ها، تعداد UAVها افزایش می‌یابد. همچنین در مقایسه با حالتی که از ایستگاه‌های پایه‌ی زمینی استفاده می‌شود، میانگین توان ارسالی از CHها نسبت به زمانی که از UAVها استفاده می‌شود، ۶۸ درصد کاهش می‌یابد زیرا در حقیقت UAVها به سمت CHها حرکت می‌کنند در نتیجه سایه‌افکنی و احتمال قطع کاهش می‌یابد. بنابراین خوشه‌ها نسبت به زمانی که از ایستگاه‌های پایه‌ی زمینی استفاده می‌شود از توان کمتری برای ارسال سیگنال استفاده می‌کنند. این مقاله از تکنیک‌های NOMA و امنیت لایه‌ی فیزیکی استفاده نکرده است و ارسال سیگنال تنها در کانال‌های دید مستقیم انجام می‌شود و مدل کانال نیز بر اساس افت مسیر می‌باشد.



شکل (۲-۳): سیستم مدل شامل تعدادی UAV و تعدادی دستگاه از نوع ماشین [۱۸]



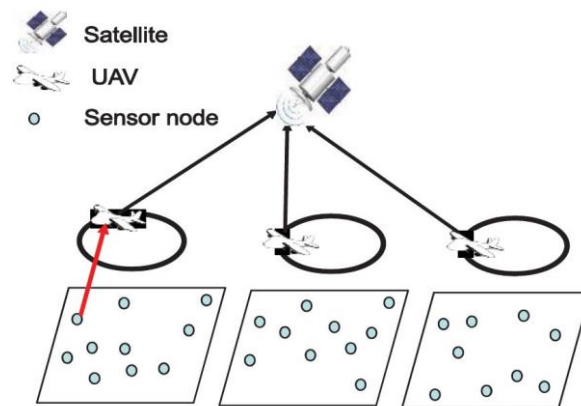
در مقاله‌ی [۱۹] که سیستم مدل آن در شکل (۲-۴) نشان داده شده است، نویسندگان یک شبکه‌ی دو لایه‌ای بی‌سیم برای جمع‌آوری داده در نظر گرفته‌اند. در لایه اول داده‌ها از گره‌های حسگر به UAV فرستاده می‌شوند و در لایه‌ی دوم UAV داده‌های دریافتی را به مقصد ارسال می‌کند. هر UAV تصمیم می‌گیرد که چه مقدار از پهنای باند را به هر حسگر در هر بخش زمانی تخصیص دهد. هر حسگر هم بودجه‌ی انرژی مخصوص به خود را در تمامی بخش‌های زمانی دارد و تصمیم می‌گیرد که چه مقدار از این انرژی را برای ارسال داده استفاده کند. این مقاله لایه‌ی اول را بررسی می‌کند. هدف تخصیص بهینه‌ی پهنای باند و انرژی برای بیشینه کردن نرخ ارسال داده است درحالی که نرخ در هر بخش زمانی برای هر حسگر تضمین شود. در این مقاله انتقال داده با تاخیر صفر انجام می‌شود یعنی هر حسگر در بخش زمانی  $t$  داده را می‌فهمد و در بخش زمانی  $t + 1$  آن را برای UAV ارسال می‌کند. این مسئله با استفاده از دو الگوریتم برنامه ریزی پویا<sup>۱</sup> (DPBA) و الگوریتم تخصیص منابع مساوی<sup>۲</sup> (ERAA) حل شده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی نرخ کل داده برحسب بودجه انرژی بر اساس الگوریتم DPBA نسبت به نرخ کل داده برحسب بودجه‌ی انرژی بر اساس الگوریتم ERAA بیشتر است زیرا الگوریتم ERAA پهنای باند را به صورت مساوی بین حسگرها تخصیص می‌دهد درحالی که فاصله‌ی حسگرهای مختلف تا UAV با هم متفاوت می‌باشد بنابراین برای حسگرهایی که فاصله‌ی کمتری تا UAV دارند اگر پهنای باند بیشتری به آن‌ها تخصیص داده شود، می‌توانند نرخ داده‌ی ارسالی بیشتری داشته باشند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی نرخ کل داده درحالی که حداقل نرخ مورد نیاز افزایش می‌یابد با استفاده از الگوریتم DPBA کاهش می‌یابد زیرا هرچه حداقل نرخ مورد نیاز بیشتر باشد، هر حسگر به پهنای باند بیشتری نیاز پیدا می‌کند. بنابراین پهنای باند برای تخصیص

---

<sup>۱</sup> Dynamic Programming Based Algorithm

<sup>۲</sup> Equal Resource Allocation Algorithm

به صورت پویا کاهش می‌یابد در نتیجه نرخ کل نیز کاهش می‌یابد. در این مقاله ارسال اطلاعات به صورت متعامد انجام گرفته و از تکنیک امنیت لایه فیزیکی نیز استفاده نشده است و مدل کانال نیز بر اساس افت مسیر و تنها در دید مستقیم می‌باشد.

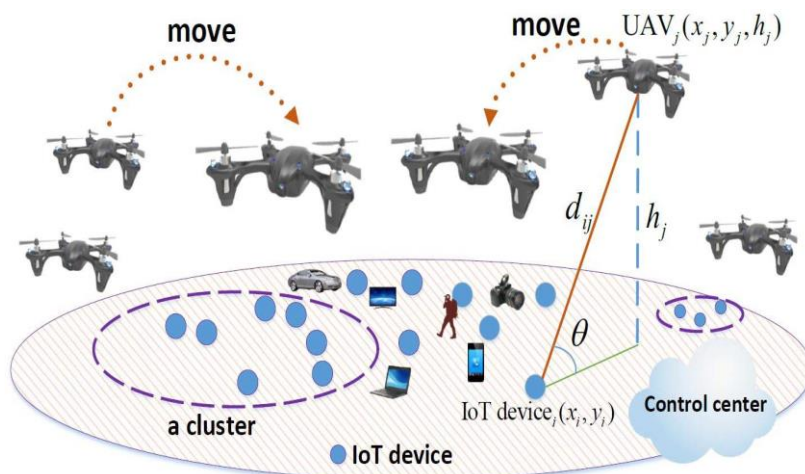


شکل (۲-۴): سیستم مدل به صورت شبکه‌ی دو لایه‌ای بی‌سیم [۱۹]

مقاله‌ی [۲۰] که سیستم مدل آن در شکل (۲-۵) نمایش داده شده است، شامل  $L$  عدد دستگاه IoT درون یک ناحیه‌ی جغرافیایی و  $K$  عدد UAV به عنوان ایستگاه‌های پایه‌ی هوایی می‌باشد. UAVها از دستگاه‌های IoT زمینی داده جمع‌آوری می‌کنند. در این مقاله ابتدا برای یک شبکه‌ی IoT زمینی ثابت با خوشه بندی مناسب دستگاه‌ها به طوری که هر خوشه تنها توسط یک UAV سرویس داده شود، کل توان ارسالی دستگاه‌ها کمینه می‌شود، سپس برای ادامه ارتباطات بهینه از لحاظ انرژی در شبکه‌های متحرک IoT، مسیر بهینه UAV تعیین می‌شود. هر UAV تعداد خاصی از دستگاه‌ها را پوشش می‌دهد. فرض شده است که دستگاه‌ها از دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد<sup>۱</sup> (OFDMA) برای ارسال داده استفاده می‌کنند و ارسال تنها در نواحی که تحت دید مستقیم قرار دارند، انجام می‌شود. مجموعه دستگاه‌هایی که به هر UAV وصل می‌شوند یک خوشه را تشکیل می‌دهند، اشتراک خوشه‌ها نیز تهی می‌باشد و یک UAV هم در مرکز هر خوشه قرار می‌گیرد. در شبکه‌ی متغیر با زمان مکان دستگاه‌های IoT تغییر می‌کند در نتیجه خوشه‌بندی نیز تغییر می‌کند. حرکت UAVها به مرکز خوشه‌ها باید با

<sup>۱</sup> Orthogonal Frequency Division Multiple Access

حداقل انرژی انجام شود یعنی در هنگام یافتن مسیر بهینه‌ی UAVها باید مشخص شود که کدام خوشه به کدام UAV متصل شود. بر اساس نتایج شبیه‌سازی این مقاله مکان دستگاه‌های IoT بر تعداد دستگاه‌های هر خوشه و نیز بر مکان بهینه UAVها موثر است. همچنین تعداد دستگاه‌های هر خوشه با افزایش تعداد UAVها کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد UAVها به دلیل آنکه UAVها می‌توانند در فاصله‌ی نزدیک‌تری نسبت به دستگاه‌های IoT قرار گیرند، کل توان ارسالی از دستگاه‌های IoT کاهش می‌یابد. کل توان ارسالی از دستگاه‌های IoT هنگامی که مکان UAVها ثابت باشد، نسبت به کل توان ارسالی از دستگاه‌های IoT در زمانی که مکان UAVها بهینه می‌شود، بیشتر است. این مقاله برای ارسال سیگنال از تکنیک‌های NOMA، امنیت لایه فیزیکی و برداشت انرژی استفاده نکرده است و مدل کانال نیز بر اساس افت مسیر و تنها در دید مستقیم می‌باشد.

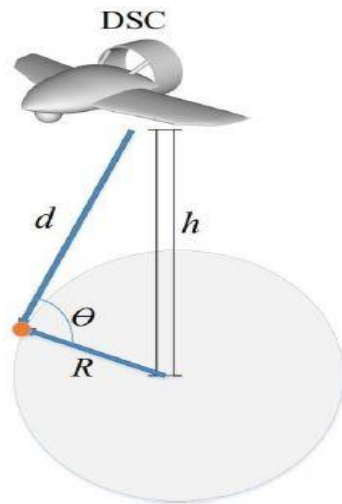


شکل (۲-۵): سیستم مدل شامل  $L$  عدد دستگاه IoT درون یک ناحیه‌ی جغرافیایی و  $K$  عدد UAV [۲۰]

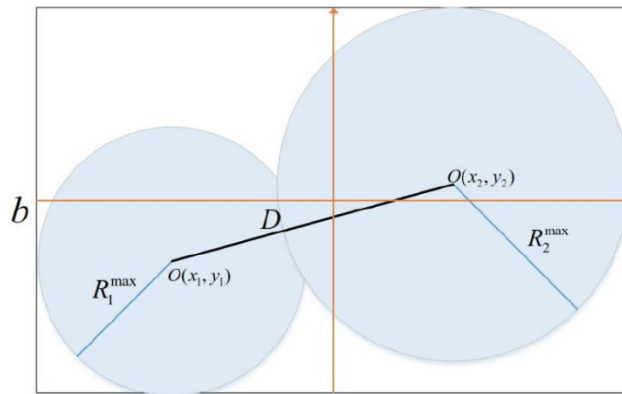
در مقاله‌ی [۲۱] ناحیه‌ی پوشش‌دهی توسط DSCها مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا ارتفاع بهینه‌ی یک DSC که منجر به بیشینه‌ی پوشش‌دهی می‌شود و سپس بیشینه‌ی ناحیه‌ی پوشش‌دهی برای دو DSC در دو حالت بدون تداخل و با تداخل محاسبه شده است. تاثیر فاصله بین دو DSC روی ناحیه‌ی پوشش‌دهی و فاصله‌ی بین دو DSC که به بیشینه‌ی ناحیه‌ی پوشش‌دهی منجر می‌شود نیز بررسی شده است. بر اساس نتایج این مقاله به کارگیری یک DSC در ارتفاع بهینه حداقل توان ارسالی

<sup>۱</sup> Drone Small Cell

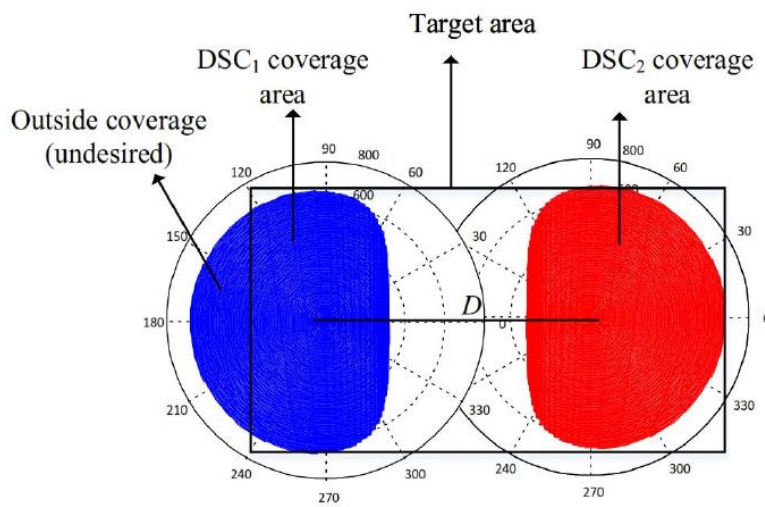
مورد نیاز را کمینه می‌کند. در حقیقت برای ارتفاع‌های خیلی کم به علت تأثیرات سایه‌افکنی، احتمال LoS بودن کانال ارتباطی بین فرستنده و گیرنده کاهش می‌یابد و در نتیجه شعاع پوشش‌دهی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر در ارتفاعات بالا احتمال LoS بودن کانال ارتباطی بین فرستنده و گیرنده افزایش می‌یابد اما به علت فاصله‌ی زیاد بین فرستنده و گیرنده، افت مسیر افزایش می‌یابد و عملکرد پوشش‌دهی کاهش می‌یابد. ناحیه پوشش‌دهی توسط یک DSC در شکل (۲-۶) نشان داده شده است. زمانی که از دو DSC بدون حضور تداخل استفاده می‌شود، ناحیه‌ی پوشش‌دهی موثر بخشی از ناحیه‌ی پوشش‌دهی است که درون دو ناحیه‌ی پوشش‌دهی مربوط به هر یک از DSCها می‌باشد. حداکثر ناحیه پوشش‌دهی موثر هنگامی به دست می‌آید که ناحیه پوشش‌دهی موثر توسط هر یک از DSCها بیشینه شود در حالی که هم‌پوشانی دو ناحیه پوشش‌دهی مربوط به دو DSC کمینه شود. این شرایط هنگامی حاصل می‌شود که هر DSC در ارتفاع بهینه‌اش باشد و تا جایی که ممکن است آن دو از هم دور باشند اما بیرون ناحیه‌ی هدف را پوشش ندهند. در حقیقت آن دو می‌توانند در ارتفاع‌های متفاوت باشند و توان‌های ارسالی متفاوتی داشته باشند. ناحیه‌ی پوشش‌دهی دو DSC بدون حضور تداخل در شکل (۲-۷) نمایش داده شده است. حالتی که دو DSC هنگام ارسال دارای تداخل هستند، یعنی دو DSC از کانال ارتباطی یکسان برای ارسال سیگنال استفاده می‌کنند یعنی در حضور تداخل در حالتی که فاصله‌ی دو DSC زیاد است، عمده‌ی ناحیه‌ی پوشش‌دهی بیرون ناحیه‌ی هدف ایجاد می‌شود که مطلوب نیست. از طرف دیگر اگر دو DSC به هم نزدیک باشند، تداخل بین آن‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد پوشش‌دهی را کاهش می‌دهد. بنابراین برای بیشینه کردن ناحیه‌ی پوشش‌دهی موثر بین دو DSC باید فاصله‌ی بین دو DSC به گونه‌ای تنظیم شود که تداخل بین دو DSC در حالی که پوشش‌دهی بیرون ناحیه‌ی هدف کمینه شود بالا نباشد. ناحیه‌ی پوشش‌دهی دو DSC در حضور تداخل در شکل (۲-۸) نمایش داده شده است.



شکل (۲-۶): ناحیه پوشش دهی مربوط به یک DSC [۲۱]

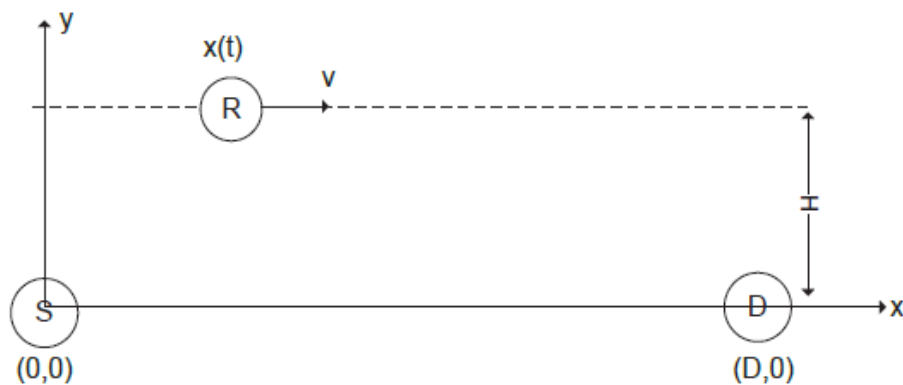


شکل (۲-۷): ناحیه پوشش دهی دو DSC بدون حضور تداخل [۲۱]



شکل (۲-۸): ناحیه پوشش دهی دو DSC در حضور تداخل [۲۱]

مقاله‌ی [۲۲] که سیستم مدل آن در شکل (۲-۹) نشان داده شده است شامل یک سیستم مخابراتی بی‌سیم با یک گره‌ی مبدأ و یک گره‌ی مقصد می‌باشد که به فاصله‌ی  $D$  متر نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. فرض شده است که ارتباط مستقیم بین گره‌ی مبدأ و گره‌ی مقصد به دلیل وجود موانع امکان پذیر نمی‌باشد. بنابراین باید رله‌ی  $R$  به کار گرفته شود تا امکان ارتباط بین گره‌ی مبدأ و گره‌ی مقصد فراهم شود و فرض شده است که رله‌ی به کار گرفته شده توانایی حرکت دارد و در ارتفاع ثابت پرواز می‌کند، به این منظور از یک UAV به عنوان رله استفاده شده است. کانال بین گره‌ی مبدأ و رله و کانال بین رله و گره‌ی مقصد در شرایط دید مستقیم می‌باشد. هدف این مقاله پیشینه‌سازی اطلاعات ارسالی از فرستنده به سمت گیرنده می‌باشد که یک مسئله غیر محدب می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی این مقاله نشان می‌دهد که برای حرکت مستقیم UAV از مبدأ به مقصد نرخ ارسال اطلاعات به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالتی که از رله‌ی ثابت استفاده می‌شود، بیشتر است. همچنین نتایج گویای آن است که هر چه زمان انجام عملیات بالاتر می‌رود به دلیل آنکه UAV فرصت می‌یابد که مدتی روی گره‌ی مبدأ و گره‌ی مقصد شناور بماند، میزان نرخ زیاد می‌شود. این مقاله از تکنیک‌های برداشت انرژی و امنیت لایه فیزیکی استفاده نکرده است.



شکل (۲-۹): سیستم مدل شامل یک گره‌ی مبدأ، یک گره‌ی مقصد و یک رله [۲۲]

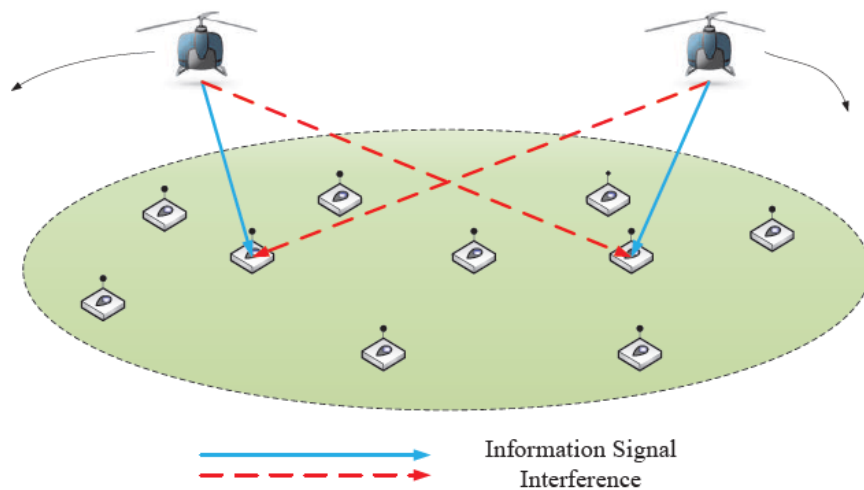
مقاله‌ی [۲۳] که سیستم مدل آن در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است، شامل یک شبکه‌ی بی‌سیم با  $M$  عدد UAV است که این UAVها به عنوان ایستگاه‌های پایه‌ی هوایی هستند که کاربران روی

زمین را در دوره‌ی زمانی  $T$  سرویس‌دهی می‌کنند. همه‌ی UAVها در ارتفاع ثابت  $h$  پرواز می‌کنند و در پایان دوره‌ی زمانی  $T$  هر UAV به مکان اولیه‌ی خود در ابتدای دوره‌ی زمانی  $T$  باز می‌گردد. فرض شده است که UAVها باندهای فرکانسی را روی دوره‌های زمانی پی‌درپی تقسیم می‌کنند. در هر دوره‌ی زمانی هر یک از UAVها کاربران زمینی مربوط به خود را از طریق دسترسی چندگانه تقسیم زمانی<sup>۱</sup> (TDMA) سرویس‌دهی می‌کنند. هر چه که دوره‌ی زمانی  $T$  بزرگ‌تر باشد، هر UAV می‌تواند به کاربرانی که می‌خواهد به آن‌ها سرویس دهد، نزدیک‌تر شود و به کانال‌های ارتباطی بهتری دست یابد. همچنین می‌تواند از کاربرانی که نمی‌خواهد به آن‌ها سرویس‌دهی کند به میزان بیشتری دور شود تا میزان تداخل کاهش یابد. از طرف دیگر، به هر حال دوره‌ی زمانی  $T$  بزرگ‌تر، میزان تأخیر را زیاد می‌کند زیرا هر کاربر از یک دوره‌ی زمانی تا دوره‌ی زمانی بعدی باید مدت زمان طولانی‌تری برای ارتباط با یک UAV منتظر بماند. بنابراین دوره‌ی زمانی  $T$  باید به دقت انتخاب شود تا بین میزان تأخیر و میزان بازده تعادل ایجاد شود. دوره‌ی زمانی  $T$  به  $N$  بخش زمانی مساوی  $\delta$  تقسیم شده است به طوری که این  $\delta$  باید به حدی کوچک باشد که مکان UAV در هر بخش زمانی به صورت تقریبی ثابت باشد. برای UAV نیز حداکثر سرعتی تعریف شده است که نمی‌تواند با سرعتی بالاتر از آن پرواز کند. هر UAV نیز در هر بخش زمانی یک کاربر را سرویس‌دهی می‌کند. هدف این مقاله پیشینه کردن حداقل میانگین نرخ کاربران همراه با بهینه کردن مسیر حرکت UAVها و تخصیص توان است. در واقع در این مسئله علاوه بر بهینه کردن مسیر حرکت و تخصیص توان باید برنامه‌ریزی اتصال کاربران به UAVها در هر بخش زمانی نیز بهینه شود. این مقاله مسئله را برای دو حالت در زمانی که مسیر حرکت بر روی دایره است و زمانی که مسیر حرکت دایره نیست بررسی نموده است. نتایج شبیه‌سازی بیان‌گر آن است که حرکت UAV کانال‌های هوا به زمین بهتر و به علاوه انعطاف‌پذیری بهتری برای کاهش تداخل فراهم می‌کند در نتیجه برون‌دهی نسبت به زمانی که از ایستگاه‌های هوایی ثابت استفاده می‌شود، بالاتر است زیرا وقتی UAV حرکت می‌کند، می‌تواند به کاربرانی که می‌خواهد به آن‌ها سرویس دهد، نزدیک‌تر شود و کانال ارتباطی بهتری

---

<sup>۱</sup> Time-Division Multiple Access

را ایجاد کند و همچنین از کاربرانی که نمی‌خواهد به آن‌ها سرویس دهد، دور شود و کانال ارتباطی‌اش را با آن‌ها ضعیف کند تا میزان تداخل کاهش یابد. طبق نتایج حرکت UAV روی مسیر غیر دایره‌ای نسبت به حالتی که UAV روی مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند، برون‌دهی بهتری را فراهم می‌کند. زیرا با حرکت بر روی مسیر غیر دایره‌ای UAVها انعطاف‌پذیری و مانورپذیری بالاتری دارند تا به کاربری که می‌خواهند به آن سرویس دهند نزدیک شوند و از کاربرانی که نمی‌خواهند به آن‌ها سرویس دهند دور شوند. این مقاله از تکنیک‌های NOMA، امنیت لایه فیزیکی و برداشت انرژی استفاده نکرده است.

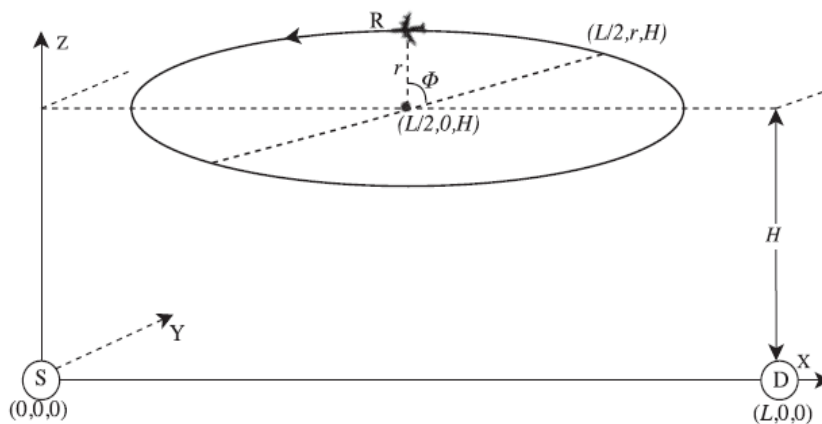


شکل (۲-۱۰): سیستم مدل یک شبکه بی‌سیم شامل  $M$  عدد UAV و تعدادی کاربر زمینی [۲۳]

مقاله‌ی [۲۴] که سیستم مدل آن در شکل (۲-۱۱) نشان داده است، شامل یک شبکه‌ی مخابراتی بی‌سیم با یک گرهی مبدأ، یک گرهی مقصد و یک رله می‌باشد. گرهی مبدأ در مختصات  $(0,0,0)$  و گرهی مقصد در مختصات  $(L,0,0)$  قرار دارند. فرض شده است که ارتباط بین گرهی مبدأ و گرهی مقصد به دلیل وجود موانع ممکن نیست. بنابراین یک رله نیاز است تا به ارسال اطلاعات از گرهی مبدأ به گرهی مقصد کمک نماید. این رله بر خلاف رله‌های مرسوم ثابت که مکانشان ثابت می‌باشد، متحرک است. بنابراین از یک UAV به این منظور استفاده شده است. فرض شده است که UAV در ارتفاع ثابت  $h$  و با سرعت ثابت  $v$  در یک مسیر دایره‌ای به شعاع  $r$  که مرکز این دایره در نقطه‌ی  $(L/2,0,h)$  می‌باشد، در پرواز است. بنابراین دوره‌ی زمانی گردش UAV روی دایره به صورت  $\frac{2\pi r}{v}$  است. در این مقاله فرض



شده است که UAV از تکنیک تقسیم زمانی دو طرفه<sup>۱</sup> (TDD) بر مبنای دیکد و ارسال<sup>۲</sup> (DF) استفاده می‌کند. هدف این مقاله بیشینه‌سازی کارایی طیفی<sup>۳</sup> (SE) و کارایی انرژی<sup>۴</sup> (EE) همراه با بهینه کردن تخصیص بخش‌های زمانی و توأمأً بهینه کردن مسیر حرکت UAV می‌باشد. طبق نتایج شبیه‌سازی این مقاله، بین بیشینه‌سازی SE و بیشینه‌سازی EE رابطه‌ی عکس وجود دارد، یعنی با افزایش بیشینه‌ی یکی از آن‌ها بیشینه‌ی دیگری کم می‌شود. براساس نتایج شبیه‌سازی این مقاله مقدار SE و مقدار EE با استفاده از UAV نسبت به زمانی که از رله ثابت استفاده می‌شود، مقدار بیشتری دارد زیرا با استفاده از رله‌ی متحرک فاصله‌ی رله تا گره‌ی مبدأ و گره‌ی مقصد کاهش یافته و در نتیجه کانال‌های ارتباطی بهره‌ی بهتری دارند. این مقاله از تکنیک‌های امنیت لایه فیزیکی و برداشت انرژی استفاده نکرده است و ارسال سیگنال تنها در کانال‌های دید مستقیم و بر اساس افت مسیر می‌باشد.



شکل (۲-۱۱): سیستم مدل شامل یک گره‌ی مبدأ و یک گره‌ی مقصد و یک رله [۲۴]

در مقاله [۲۵] یک الگوریتم ابتکاری برای بهینه‌سازی میانگین کل انرژی مصرفی توسط گره‌های پایه‌ی زمینی در جمع‌آوری داده با استفاده از یک UAV بررسی شده است. در هر خوشه از گره‌ها UAV حداقل از یکی از گره‌ها اطلاعات جمع‌آوری می‌کند. قبل از هر پرواز UAV مکان گره‌ها را می‌داند تا بفهمد که بر بالای کدام گره پرواز کند. بعد از پرواز در محدوده‌ی مخابراتی هر کدام از گره‌های هر

<sup>۱</sup> Time-Division Duplexing

<sup>۲</sup> Decode-and-Forward

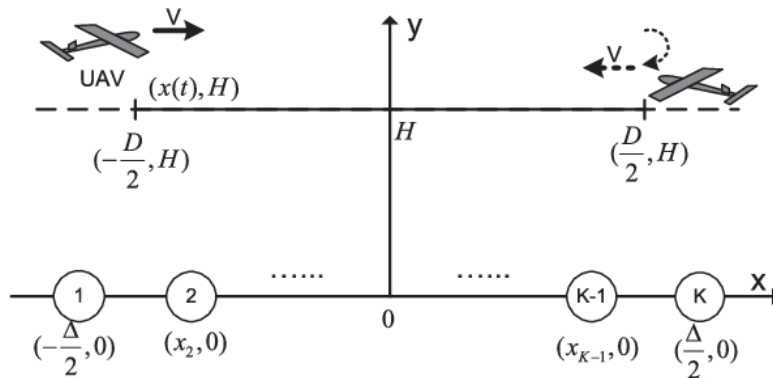
<sup>۳</sup> Spectrum Efficiency

<sup>۴</sup> Energy Efficiency

خوشه، UAV اطلاعاتی در مورد انرژی باقی مانده در هر گره دریافت می کند و از این اطلاعات می فهمد که باید به سمت کدام گره حرکت نماید. معیارهای اساسی این مقاله شامل میانگین انرژی مصرفی، فاصله ی پرواز برای بررسی شبکه و مدت زمان پایداری شبکه می باشد. UAV برای انتخاب گره سه رویکرد دارد. UAV می تواند به سمت نزدیک ترین گره نسبت به مرکز خوشه ی مربوطه حرکت نماید و یا می تواند گره ای را انتخاب کند که انرژی مصرفی آن خوشه را کمینه کند و یا اینکه به سمت کم انرژی ترین گره در هر خوشه پرواز نماید. نوآوری این مقاله سبب می شود که UAV بهترین گره نماینده ای را انتخاب کند که انرژی مصرفی را به حداقل برساند و متعاقباً طول عمر شبکه را بیشینه نماید. اگر رله ی مشارکتی استفاده شود انرژی مصرفی بیشتر بهینه می شود، در این حالت انرژی کل برای رله کردن ارسال بهینه می شود. این مقاله از تکنیک های NOMA و امنیت لایه فیزیکی استفاده نکرده است و ارسال سیگنال تنها در کانال های دید مستقیم و بر اساس افت مسیر می باشد.

مقاله [۲۶] که سیستم مدل آن در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است، شبکه ی مخابراتی را بررسی نموده است که در آن یک UAV بر فراز تعداد زیادی کاربران زمینی ثابت که روی یک خط راست به فاصله های یکسان قرار گرفته اند، به صورت یک رفت و برگشت در دوره ی زمانی  $T$  با سرعت ثابت پرواز می کند. UAV با کاربران زمینی با مدولاسیون TDMA ارتباط برقرار می کند و کانال های ارتباطی UAV با کاربران زمینی تحت شرایط دید مستقیم و بر اساس مدل افت مسیر است. هدف این مقاله بهینه سازی تخصیص زمانی به کاربران مختلف به گونه ای است که حداقل نرخ کاربران را بیشینه نماید که این تخصیص زمانی به مکان UAV و مکان کاربران مربوط می باشد. در واقع مسئله آن است که برای مکان های معلوم UAV حداقل نرخ کاربران بیشینه شود که این یک مسئله ی غیر محدب می باشد. بر اساس نتایج شبیه سازی میزان بیشینه ی حداقل نرخ کاربران در حالتی که از UAV استفاده می شود به میزان ۳۳.۷ درصد نسبت به زمانی که از ایستگاه پایه ثابت استفاده می شود بالاتر است. البته هنگامی که UAV با سرعت ثابت در حرکت است هر چه که طول مسیر پرواز بیشتر باشد میزان تأخیر برای

کاربران زیاد می‌شود. در نتیجه بین بیشینه‌ی حداقل نرخ کاربران و میزان تأخیر رابطه‌ی عکس وجود دارد.



شکل (۲-۱۲): سیستم مدل شامل یک UAV و تعداد زیادی کاربر زمینی روی یک خط مستقیم [۲۶]

در مقاله‌ی [۲۷] کارایی انرژی امنیتی<sup>۱</sup> (SEE) در شبکه‌ی مخابراتی شامل UAV بررسی شده است. UAVهای فرستنده و گیرنده‌ها و شنودگرها به صورت تصادفی به کار گرفته شده‌اند. کانال‌های مخابراتی به کار رفته در این مقاله هم شامل مؤلفه‌ی دید غیر مستقیم و هم مؤلفه‌ی دید مستقیم همراه با احتمال رخداد آن‌ها می‌باشد و علاوه بر افت مسیر، فیدینگ و تداخل را هم در نظر گرفته است. اطلاعات حالت کانال<sup>۲</sup> (CSI) نیز برای فرستنده مشخص است. اساس ارتباط بر این است که گیرنده‌ای که بالاترین میانگین توان دریافتی را دارد می‌تواند با UAV ارتباط برقرار کند و وقتی هم که پیام توسط گیرنده نتواند بدون خطا دیکد شود ارتباط قطع می‌گردد و وقتی هم که شنودگر از یک مقدار آستانه‌ای کانال بهتری داشته باشد ارتباط قطع می‌گردد. این مقاله از تکنیک NOMA استفاده نکرده است.

در مقاله‌ی [۲۸] UAV یک نقطه‌ی دسترسی متحرک است که به صورت دوره‌ای تعدادی از کاربران زمینی را سرویس‌دهی می‌کند. UAV از امواج رادیو فرکانسی<sup>۳</sup> (RF) برای ارسال داده به کاربران استفاده می‌کند و کاربران زمینی هم از امواج RF انرژی برداشت می‌کنند تا سیگنال‌های پیام را به UAV ارسال نمایند. کانال ارتباطی بین UAV و کاربران تحت شرایط دید مستقیم می‌باشد.

<sup>۱</sup> Secure Energy Efficiency

<sup>۲</sup> Channel State Information

<sup>۳</sup> Radio Frequency

هدف این مقاله پیشینه کردن حداقل نرخ کاربران زمینی از طریق مسیریابی و تخصیص منابع است. مسئله‌ی بهینه‌سازی مربوطه نیز غیر محدب می‌باشد که حل آن سخت می‌باشد به همین دلیل مسئله ابتدا برای حالت عدم وجود محدودیت برای حداکثر سرعت حرکت UAV و سپس با وجود محدودیت برای حداکثر سرعت UAV حل شده است. نتایج گویای آن است که UAV باید بر فراز تعداد محدودی از کاربران زمینی شناور بماند. همچنین زمانی که دوره‌ی زمانی پرواز UAV به اندازه‌ی کافی بالا باشد، UAV به عملکرد بهینه نزدیک می‌شود.

مقاله‌ی [۲۹] از UAV برای جمع‌آوری داده از گره‌های حسگر زمینی استفاده کرده است که یک تکنیک کارا از لحاظ مصرف انرژی می‌باشد زیرا UAV می‌تواند به اندازه‌ی کافی به گره‌ای که می‌خواهد اطلاعات از آن دریافت کند نزدیک شود در نتیجه میزان انرژی مصرفی کاهش می‌یابد. این مقاله از فیدینگ و افت مسیر استفاده کرده است. هدف این مقاله آن است که بیشترین انرژی مصرفی کاربران در حالی که نرخ مورد نیاز هر کاربر تضمین می‌گردد، کمینه گردد که این یک مسئله غیر محدب می‌باشد. این مقاله از تکنیک‌های NOMA، امنیت لایه‌ی فیزیکی و برداشت انرژی استفاده نکرده است و ارسال سیگنال تنها در کانال‌های دید مستقیم انجام گرفته است.

در مقاله‌ی [۳۰] UAV با تکنیک OFDMA به گروهی از کاربران زمینی سرویس‌دهی می‌کند. هدف این مقاله پیشینه کردن حداقل نرخ کاربران با در نظر گرفتن حداقل نرخ مورد نیاز کاربران است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد با افزایش حداقل نرخ مورد نیاز میزان برون‌دهی کاهش می‌یابد. در این مقاله ارسال سیگنال تنها در کانال‌های دید مستقیم و براساس افت مسیر انجام می‌شود و از تکنیک‌های برداشت انرژی، امنیت لایه‌ی فیزیکی و NOMA استفاده نشده است.

در مقاله‌ی [۳۱] UAV اطلاعات امن را به گیرنده‌ی قانونی زمینی در حضور شنودگر زمینی با تکنیک TDMA ارسال می‌کند. هدف این مقاله پیشینه کردن نرخ اطلاعات امن است که یک مسئله غیر محدب می‌باشد. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که با افزایش دوره زمانی حرکت UAV میزان نرخ امن افزایش می‌یابد زیرا UAV می‌تواند بر فراز کاربران شناور باقی بماند. در این مقاله بهره‌ی کانال بر اساس افت

مسیر است و ارسال سیگنال تنها در شرایط دید مستقیم انجام می‌شود و از تکنیک برداشت انرژی استفاده نشده است.

در مقاله‌ی [۳۲] UAV با استفاده از تکنیک OFDMA دو کاربر زمینی را سرویس‌دهی می‌کند. هدف این مقاله بیشینه کردن حداقل نرخ دو کاربر با در نظر گرفتن حداقل نرخ نسبی با استفاده از تخصیص منابع و طراحی مسیر حرکت UAV است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد هنگامی که دو کاربر حداقل نرخ نسبی برابر دارند میزان بروندهی با افزایش مقدار حداقل نرخ نسبی کاهش می‌یابد. در این مقاله سیگنال تنها در شرایط دید مستقیم ارسال می‌شود و بهره‌ی کانال مبتنی بر افت مسیر می‌باشد و از تکنیک‌های امنیت لایه‌ی فیزیکی، برداشت انرژی و NOMA استفاده نشده است.



# فصل ۳: کارهای انجام شده در پایان نامه و نتایج تهیه

سازی

در این فصل یک شبکه‌ی مخابراتی شامل یک فرستنده، یک رله و دو گیرنده را در نظر می‌گیریم. از یک UAV به عنوان رله DF استفاده می‌کنیم. هدف این سیستم مدل پیشینه‌سازی اطلاعات ارسالی از فرستنده به دو گیرنده از طریق تخصیص توان می‌باشد. در بخش اول این فصل فرض می‌شود اطلاعات ارسالی هم شامل اطلاعات امن و هم اطلاعات غیر امن می‌باشد و رله سیگنال را با استفاده از تکنیک NOMA برای دو گیرنده ارسال می‌کند و در بخش دوم این فصل فرض می‌شود که اطلاعات ارسالی تنها شامل اطلاعات غیر امن می‌باشد و ارسال سیگنال توسط رله به دو گیرنده یک بار با تکنیک NOMA و بار دوم با تکنیک OMA انجام می‌شود و عملکرد این دو حالت با هم مقایسه می‌شود. در نهایت در حالتی که از تکنیک NOMA و اطلاعات غیر امن استفاده می‌شود مسئله یک بار با روش SCA و بار دیگر به روش جستجوی فراگیر شبیه‌سازی می‌شود و این دو روش حل با هم مقایسه می‌گردد.

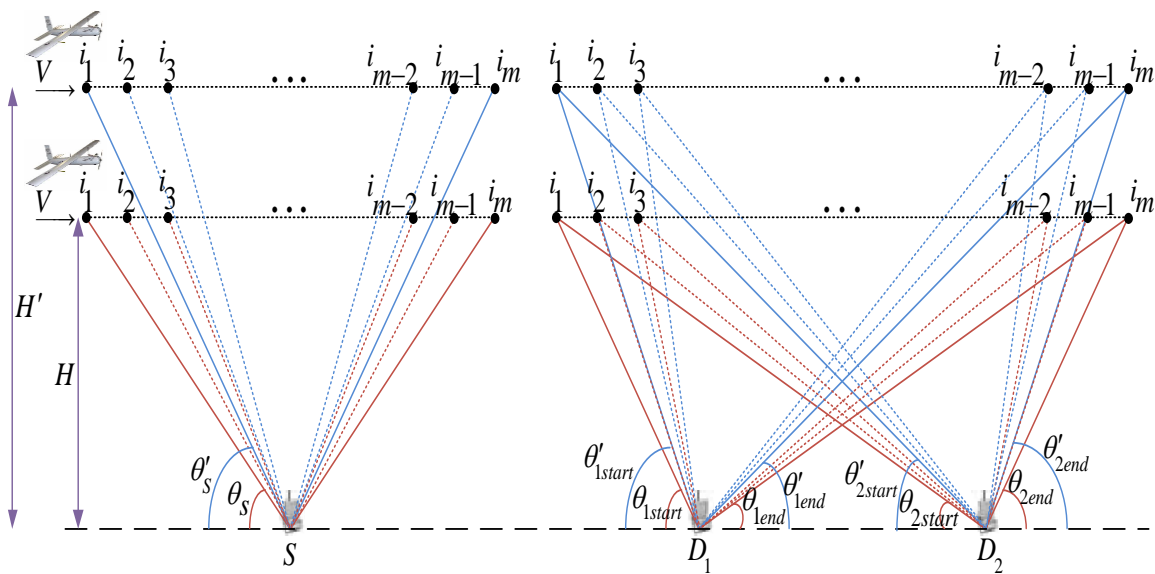
### ۳-۱ بخش اول: تخصیص منابع به منظور حفظ امنیت در شبکه - های مبتنی بر UAV

#### ۳-۱-۱ سیستم مدل پیشنهادی

سیستم مدل مورد مطالعه شامل چهار گره یعنی یک فرستنده، یک رله و دو گیرنده می‌باشد که بر روی یک خط راست قرار گرفته‌اند. فاصله‌ی فرستنده و دو گیرنده آنقدر زیاد می‌باشد که ارتباط مستقیم بین آن‌ها ممکن نیست. بنابراین از یک UAV به عنوان رله DF استفاده می‌شود تا اطلاعات فرستنده را به دو گیرنده انتقال دهد. ما فرض می‌کنیم که UAV در یک خط مستقیم در ارتفاع ثابت  $H$  متر و با سرعت ثابت  $V$  متر بر ثانیه از فرستنده به سمت دو گیرنده حرکت می‌کند. وقتی که UAV از روی فرستنده عبور می‌کند، اطلاعات در نظر گرفته شده برای گیرنده‌ها را دریافت می‌کند. UAV اطلاعات دریافتی را کدگذاری می‌کند و در حافظه‌اش ذخیره‌سازی می‌کند. وقتی که UAV به گیرنده‌ها نزدیک



می‌شود، این اطلاعات را با استفاده از تکنیک NOMA به صورت همزمان برای دو گیرنده ارسال می‌نماید. این سیستم مدل در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. در این شکل زوایا و بخش‌های زمانی برای دو ارتفاع  $H$  و  $H'$  نشان داده شده است. مسیر حرکت UAV بر روی فرستنده به  $m$  بخش با طول مساوی تقسیم می‌شود که فرض می‌شود بهره‌ی کانال در هر بخش تقریباً ثابت می‌باشد. همچنین مسیر حرکت UAV بر روی گیرنده‌ها نیز به  $m$  بخش با طول مساوی تقسیم می‌شود که فرض می‌شود بهره‌ی کانال در هر بخش تقریباً ثابت می‌باشد.



شکل (۱-۳): سیستم مدل بررسی شده شامل یک فرستنده ( $S$ ) و دو گیرنده ( $D_1$  و  $D_2$ ) و رله ( $R$ )

اطلاعات ارسالی برای هر کاربر به دو بخش اطلاعات امن و اطلاعات غیر امن تقسیم می‌شود. بخش امن اطلاعات مربوط به هر کاربر باید نسبت به کاربر دیگر محرمانه باشد. فرستنده هنگامی اطلاعات را به UAV می‌فرستد که احتمال آنکه کانال ارتباطی بین UAV و فرستنده به صورت دید مستقیم باشد، بالاتر از یک مقدار آستانه از قبل تعریف شده باشد، یعنی:  $p_{LoS}(\theta) \geq \varepsilon$  باشد که  $P_{LoS}(\theta)$  همان طور که در زیر بخش ۲-۲-۲ توضیح داده شد به صورت زیر است:

$$P_{LoS}(\theta) = \frac{1}{1 + a \exp(-b(\theta - a))} \quad (1-3)$$

در رابطه‌ی (۳-۱)،  $a$  و  $b$  مقادیر ثابتی هستند که به فرکانس حامل و نوع محیط بستگی دارند و  $\theta$  نیز زاویه سیگنال ارسالی با سطح افق است. مسیر مربوط به احتمال دید مستقیم بالا به بخش‌هایی با طول‌های مساوی تقسیم می‌شوند که فرض می‌شود بهره‌ی کانال در هر بخش به صورت تقریبی ثابت است. فرستنده اطلاعات جداگانه‌ای را در هر بخش برای رله می‌فرستد. برای بهره‌ی کانال تنها افت مسیر را در نظر گرفته‌ایم که همان طور که در زیربخش ۲-۲-۳ توضیح داده شد رابطه‌ی بهره‌ی کانال به صورت زیر است:

$$g = p_{\text{LoS}}(\theta) \times \beta_0 \times d^{-\gamma} + p_{\text{NLoS}}(\theta) \times \eta \times \beta_0 \times d^{-\gamma} \quad (۲-۳)$$

در رابطه‌ی (۳-۲)،  $d$  فاصله‌ی بین آنتن فرستنده و آنتن گیرنده‌ی سیگنال،  $\beta_0$  مرجع بهره‌ی توان کانال در فاصله یک متر و  $\gamma$  مؤلفه‌ی افت مسیر است. فرستنده مقدار انرژی محدودی برای ارسال اطلاعات به UAV دارد که با  $U_T$  نمایش داده می‌شود و مقدار انرژی  $u_s(i)$  را در هر بخش مصرف می‌کند. اگر  $p_{s,i}$  توان سیگنال ارسالی از فرستنده به رله در بخش زمانی  $i$  ام،  $\eta_{r,s,i}$  و  $N_{r,s}$  به ترتیب بهره‌ی کانال ارتباطی بین فرستنده و UAV در بخش  $i$  ام و نویز کانالی ارتباطی بین فرستنده و UAV باشد، مقدار اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$r_s(i) = 0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{p_{s,i} \times \eta_{r,s,i}}{N_{r,s}}\right) \quad (۳-۳)$$

بنابراین کل اطلاعاتی که فرستنده می‌تواند روی کل مسیر به UAV ارسال نماید به صورت زیر است:

$$R_s = 0.5 \sum_{i=1}^M t_i \log\left(1 + \frac{p_{s,i} \times \eta_{r,s,i}}{N_{r,s}}\right) \quad (۴-۳)$$

اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV شامل اطلاعات امن و اطلاعات غیر امن برای هر دو گیرنده است. در دو رابطه‌ی (۳-۳) و (۴-۳)،  $p_{s,i}$  توان سیگنال ارسالی از فرستنده به رله در بخش  $i$  ام،  $\eta_{r,s,i}$  میزان بهره‌ی کانال بین فرستنده و رله در بخش  $i$  ام،  $N_{r,s}$  میزان نویز کانال در بخش  $i$  ام و  $t_i$  زمان حرکت UAV در بخش  $i$  ام می‌باشد.

وقتی که UAV به دو گیرنده نزدیک می‌شود، می‌تواند اطلاعات را با استفاده از تکنیک NOMA به آن دو ارسال نماید. فرض می‌کنیم که UAV از نقطه‌ای که احتمال دید مستقیم بین UAV و گیرنده  $D_1$  برابر با مقدار آستانه از قبل تعریف شده باشد، می‌تواند اطلاعات را شروع به ارسال نماید و در نقطه‌ای که احتمال دید مستقیم بین UAV و گیرنده  $D_2$  برابر با مقدار آستانه از قبل تعریف شده باشد، به ارسال اطلاعات پایان دهد. همچنین مانند قبل مسیر حرکت به چندین بخش با طول مساوی تقسیم می‌شود که در هر بخش بهره‌ی کانال ارتباطی بین UAV و دو گیرنده تقریباً ثابت است.

ما فرض می‌کنیم که شرایط کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_1$  نسبت به کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_2$  بهتر باشد، در این حالت UAV می‌تواند اطلاعات امن را برای گیرنده‌ی  $D_1$  و اطلاعات غیر امن را برای گیرنده‌ی  $D_2$  ارسال نماید. از آنجا که افت مسیر را در نظر گرفته‌ایم، شرایط کانال با فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده مشخص می‌شود، یعنی وقتی که گیرنده‌ی  $D_1$  نسبت به گیرنده‌ی  $D_2$  به UAV نزدیکتر است، کانال گیرنده‌ی  $D_1$  نسبت به کانال گیرنده‌ی  $D_2$  بهتر می‌باشد. در این حالت گیرنده‌ی  $D_1$  سیگنال گیرنده‌ی  $D_2$  را کدگشایی می‌کند و این سیگنال را از سیگنال دریافتی حذف می‌کند و سپس اطلاعات امن خود را کدگشایی می‌کند.

اگر فرض کنیم که  $p_{D_1,i}^{\text{secure}}$  توان سیگنال امن ارسالی توسط UAV به گیرنده  $D_1$  در بخش  $i$  ام،  $p_{D_2,i}^{\text{secure}}$  توان سیگنال امن ارسالی از UAV به گیرنده  $D_2$  در بخش  $i$  ام،  $p_{D_1,i}^{\text{non-secure}}$  توان سیگنال ارسالی غیر امن از UAV به گیرنده‌ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام،  $p_{D_2,i}^{\text{non-secure}}$  توان سیگنال ارسالی غیر امن از UAV به گیرنده‌ی  $D_2$  در بخش  $i$  ام،  $\eta_{r,D_1,i}$  بهره‌ی کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام،  $\eta_{r,D_2,i}$  بهره‌ی کانال ارسالی بین UAV و گیرنده‌ی  $D_2$  در بخش  $i$  ام،  $N_{r,D_1}$  نویز کانال بین UAV و

گیرنده‌ی  $D_1$  و  $N_{r,D_2}$  نویز کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_2$  باشد. روابط زیر برقرار است:

اطلاعات سیگنال دریافتی از کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) \quad (5-3)$$

اطلاعات سیگنال دریافتی از کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_2$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) \quad (6-3)$$

بنابراین اطلاعات امن برای گیرنده ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$r_{D_1}^{\text{secure}}(i) = 0.5 \times t_i \times \left[ \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) - \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) \right] \quad (7-3)$$

اطلاعات غیر امن برای گیرنده ی  $D_2$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$r_{D_2}^{\text{non-secure}}(i) = 0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{non-secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2} + p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}\right) \quad (8-3)$$

وقتی گیرنده ی  $D_2$  نسبت به گیرنده ی  $D_1$  به UAV نزدیکتر است، کانال گیرنده ی  $D_2$  نسبت به کانال گیرنده ی  $D_1$  بهتر می باشد. در این حالت گیرنده ی  $D_2$  سیگنال گیرنده ی  $D_1$  را کدگشایی می کند و این سیگنال را از سیگنال دریافتی حذف می کند و سپس اطلاعات امن خود را کدگشایی می کند. اطلاعات دریافتی از کانال بین UAV و گیرنده ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) \quad (9-3)$$

اطلاعات دریافتی از کانال بین UAV و گیرنده ی  $D_2$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) \quad (10-3)$$

بنابراین اطلاعات امن برای گیرنده ی  $D_2$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$r_{D_2}^{\text{secure}}(i) = 0.5 \times t_i \times \left[ \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) - \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) \right] \quad (11-3)$$

اطلاعات غیر امن برای گیرنده ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$r_{D_1}^{\text{non-secure}}(i) = 0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{non-secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1} + p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}\right) \quad (12-3)$$

ما فرض می کنیم که UAV به سلول های خورشیدی مجهز است که از آن انرژی برداشت می کند و از این انرژی برداشتی برای ارسال سیگنال به گیرنده ها استفاده می کند. مقدار انرژی برداشت شده در هر بخش زمانی یک مقدار تصادفی دارد و بر اساس مدل های آماری است. ما از مدل برون خط استفاده می کنیم که مقدار انرژی برداشت شده در هر بخش از قبل مشخص می باشد.

### ۳-۱-۲ فرمول‌بندی و حل مسئله

هدف ما طراحی تخصیص منابع به گونه‌ای است که کل اطلاعات ارسالی تحت محدودیت‌های انرژی ارسالی، انرژی برداشتی و سر ریز باتری بیشینه شود. در واقع هدف ما حل مسئله‌ی بهینه‌سازی زیر است [۳۳]:

$$\max_{P_{S,i}, P_{D_1,i}^{\text{secure}}, P_{D_2,i}^{\text{secure}}, P_{D_1,i}^{\text{nonsecure}}, P_{D_2,i}^{\text{nonsecure}}} R_S \quad (13-3)$$

$$\text{subject to:} \quad R_S \leq R_D \quad (14-3)$$

$$\sum_{i=1}^M u_S(i) \leq U_T \quad (15-3)$$

$$\sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \sum_{i=1}^i E_r(i) \quad \text{for } i = 1, \dots, M \quad (16-3)$$

$$\sum_{i=1}^{i+1} E_r(i) - \sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \beta_r^{\max} \quad \text{for } i = 1, \dots, M-1 \quad (17-3)$$

در رابطه‌های (۱۳-۳) و (۱۴-۳)،  $R_S$  کل اطلاعات ارسالی توسط فرستنده به رله و  $R_D$  کل اطلاعات ارسالی توسط رله به دو گیرنده به صورت زیر است:

$$R_S = 0.5 \sum_{i=1}^M t_i \log\left(1 + \frac{P_{S,i} \times \eta_{r,S,i}}{N_{r,S}}\right) \quad (18-3)$$

$$R_D = R_{D_1}^{\text{secure}} + R_{D_2}^{\text{secure}} + R_{D_1}^{\text{non-secure}} + R_{D_2}^{\text{non-secure}} \quad (19-3)$$

در رابطه‌ی (۱۹-۳)،  $R_{D_1}^{\text{secure}}$  کل اطلاعات امن برای گیرنده‌ی  $D_1$  و  $R_{D_2}^{\text{secure}}$  کل اطلاعات امن برای گیرنده‌ی  $D_2$  و  $R_{D_1}^{\text{non-secure}}$  کل اطلاعات غیر امن برای گیرنده‌ی  $D_1$  و  $R_{D_2}^{\text{non-secure}}$  کل اطلاعات غیر امن برای گیرنده‌ی  $D_2$  هستند که به ترتیب در روابط (۲۰-۳) تا (۲۳-۳) نمایش داده شده‌اند. از آنجا که بهره‌ی کانال‌های ارتباطی بر اساس افت مسیر می‌باشد بنابراین تا بخش زمانی  $\frac{M}{2}$  کانال‌های ارتباطی گیرنده‌ی اول نسبت به کانال‌های ارتباطی گیرنده‌ی دوم، دارای بهره‌ی بزرگتری می‌باشند و از

نقطه‌ی  $1 + \frac{M}{2}$  به بعد کانال‌های ارتباطی گیرنده‌ی دوم نسبت به کانال‌های ارتباطی گیرنده‌ی اول دارای بهره‌ی بزرگتری می‌باشند.

$$R_{D_1}^{\text{secure}} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{\frac{M}{2}} t_i \left[ \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) - \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) \right] \quad (20-3)$$

$$R_{D_2}^{\text{secure}} = 0.5 \times \sum_{i=\frac{M}{2}+1}^M t_i \left[ \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) - \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) \right] \quad (21-3)$$

$$R_{D_1}^{\text{non-secure}} = 0.5 \times \sum_{i=\frac{M}{2}+1}^M t_i \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{non-secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1} + p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}\right) \quad (22-3)$$

$$R_{D_2}^{\text{non-secure}} = 0.5 \times \sum_{i=1}^{\frac{M}{2}} t_i \log\left(1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{non-secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2} + p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}\right) \quad (23-3)$$

در رابطه‌ی (۳-۱۵)،  $u_s(i)$  انرژی ارسالی توسط فرستنده در بخش  $i$  ام و  $U_T$  مقدار انرژی موجود در باتری فرستنده، در رابطه‌ی (۳-۱۶)،  $u_D(i)$  مقدار انرژی ارسالی توسط رله به دو گیرنده در بخش  $i$  ام و  $E_r(i)$  مقدار انرژی برداشتی در باتری رله در بخش  $i$  ام و در رابطه‌ی (۳-۱۷)،  $\beta_r^{\max}$  حداکثر ظرفیت انرژی باتری رله می‌باشد.

رابطه‌ی (۳-۱۳) تابع هدف مسئله‌ی بهینه‌سازی می‌باشد، که بیشینه‌سازی کل اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV می‌باشد. رابطه‌ی (۳-۱۴) بیان می‌کند که کل اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV ( $R_S$ ) باید از کل اطلاعات ارسالی از UAV به گیرنده‌ها ( $R_D$ ) کمتر باشد. رابطه‌ی (۳-۱۵) بیان می‌کند که کل انرژی مصرفی توسط فرستنده باید کمتر از  $U_T$  باشد. رابطه‌ی (۳-۱۶) بیان می‌کند که در هر بخش انرژی مصرفی توسط UAV باید از انرژی در دسترس درون باتری کمتر باشد. رابطه‌ی (۳-۱۷) محدودیت سرریز باتری است که به این معنی است که انرژی مصرفی در هر بخش باید به گونه‌ای باشد که انرژی برداشتی جدیدی که در باتری ذخیره می‌شود، سبب سرریز باتری نشود. باید یادآور شد در هر بخش قبل از آنکه UAV اطلاعات را ارسال نماید، انرژی برداشت می‌کند، انرژی برداشتی در بخش زمانی  $i$  با  $E_r(i)$  نمایش داده می‌شود.

مسئله‌ی بهینه‌سازی مطرح شده در رابطه‌های (۳-۱۳) تا (۳-۱۷) یک مسئله‌ی بهینه‌سازی غیر محدب می‌باشد. عدم محدب بودن مسئله‌ی بهینه‌سازی مذکور به دلیل قید مطرح شده در رابطه‌ی (۳-۱۴) می‌باشد زیرا که عبارت طرف کوچکتر نامساوی باید محدب باشد و همچنین عبارت طرف بزرگتر نامساوی باید مقعر باشد [۳۴] ولی در این قید این دو شرط برقرار نیست. در نتیجه حل آن از طریق حل مسائل محدب سخت می‌باشد. از این رو از روش تقریب متوالی محدب<sup>۱</sup> (SCA)، که روشی مناسب برای حل مسائل بهینه‌سازی غیر محدب می‌باشد، استفاده می‌کنیم. قابل ذکر است که برای تشخیص محدب و یا مقعر بودن یک تابع نسبت به یک متغیر می‌توان از آن تابع نسبت به متغیر مورد نظر مشتق دوم گرفت اگر جواب حاصل شده مثبت بود، تابع محدب و اگر منفی بود، تابع مقعر می‌باشد. به منظور حل مسئله بهینه‌سازی غیر محدب با استفاده از روش SCA اگر بخواهیم هدف مسئله را با استفاده از متغیر  $p$  بهینه نماییم ابتدا از یک نقطه‌ی اولیه امکان پذیر<sup>۲</sup> یعنی  $p[0]$  شروع می‌نماییم. نقطه  $p[0]$  باید تمامی شرط‌های مسئله را رعایت کند. سپس با استفاده از این مقدار اولیه و تقریب مسئله به یک مسئله محدب مقدار  $p[t-1]$  در مرحله‌ی تکرار  $t-1$  و سپس با استفاده از  $p[t-1]$  مقدار  $p[t]$  در مرحله‌ی تکرار  $t$  ام به دست می‌آوریم. این روند را ادامه می‌دهیم تا مقدار متغیر در مرحله آخر با مقدار متغیر در مرحله قبل از آن برابر شود. الگوریتم این روش به صورت زیر است :

$$p[0] \rightarrow \dots \rightarrow p[t-1] \rightarrow p[t] \rightarrow \dots \rightarrow p^{\text{opt}} \quad (۳-۲۴)$$

- آغاز با نقطه‌ی اولیه‌ی  $p[0]$  در  $t_p = 1$
- تشکیل  $t_p$  امین مسئله و تقریب مسئله به صورت محدب
- حل  $t_p$  امین مسئله محدب و یافتن مقدار بهینه‌ی  $p[t_p]$

<sup>۱</sup> Successive Convex Approximation

<sup>۲</sup> Feasible Solution

• افزایش  $t_p$  به اندازه‌ی یک واحد و برگشت به گام دوم و تکرار تا زمانی که  $p[t_p]$  همگرا شود [۳۵].

برای حل مسئله غیر محدب (۳-۱۳) تا (۳-۱۷) با استفاده روش SCA، مسئله اصلی را به مسئله‌ای تبدیل می‌نماییم که به صورت محدب تقریب زده شده است و می‌تواند توسط ابزارهای مرسوم بهینه‌سازی مانند CVX حل شود.

برای تقریب مسئله به صورت مسئله محدب از روش تفاضل دو تابع مقعر<sup>۱</sup> (D.C.) [۳۵] که بخش دوم را به صورت خط تقریب می‌زند استفاده نمودیم. از این روش برای محدودیت (۳-۱۴) استفاده می‌نماییم. ابتدا از  $R_D$  شروع می‌کنیم و آن را با استفاده از تقریب D.C. به تابعی محدب تبدیل می‌نماییم.  $R_D$  طبق رابطه‌ی (۳-۱۹) حاصل جمع چهار تابع می‌باشد و هر کدام از این توابع، غیر محدب می‌باشند. ابتدا  $R_{D_1}^{\text{non-secure}}$  که در رابطه‌ی (۳-۲۲) نمایش داده شده است را به صورت تفاضل دو جمله به صورت زیر می‌نویسیم:

$$R_{D_1}^{\text{non-secure}} = 0.5 \sum_i t_i \left[ \log \left( 1 + \frac{(p_{D_1,i}^{\text{non-secure}} + p_{D_2,i}^{\text{secure}}) \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}} \right) - \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}} \right) \right] \quad (۳-۲۵)$$

سپس از تقریب زیر برای جمله‌ی دوم این رابطه استفاده می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}} \right) &\approx \\ \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r}} \right) &+ \frac{\eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r} + p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_1,i}} \times (p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p] - p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1]) \end{aligned} \quad (۳-۲۶)$$

بنابراین  $R_{D_1}^{\text{non-secure}}$  که در رابطه (۳-۲۲) نشان داده شده است با استفاده از روش D.C. به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

<sup>۱</sup> Difference of two Concave Function



$$R_{D_1}^{\text{non-secure}} \approx \tilde{R}_{D_1}^{\text{non-secure}} = 0.5 \sum_i t_i \times \left[ \log \left( 1 + \frac{(p_{D_1,i}^{\text{non-secure}} + p_{D_2,i}^{\text{secure}}) \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r}} \right) - \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r}} \right) \right] - \frac{\eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,i} + p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_1,i}} (p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p] - p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1]) \quad (27-3)$$

و  $R_{D_2}^{\text{non-secure}}$  که در رابطه (23-3) نشان داده شده است نیز به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$R_{D_2}^{\text{non-secure}} \approx \tilde{R}_{D_2}^{\text{non-secure}} = 0.5 \sum_i t_i \times \left[ \log \left( 1 + \frac{(p_{D_2,i}^{\text{non-secure}} + p_{D_1,i}^{\text{secure}}) \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r}} \right) - \log \left( 1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r}} \right) \right] - \frac{\eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,i} + p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_2,i}} (p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p] - p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p - 1]) \quad (28-3)$$

و  $R_{D_1}^{\text{secure}}$  که در رابطه (30-3) نشان داده شده است با استفاده از بسط اول تیلور صورت زیر تقریب

زده می‌شود:

$$R_{D_1}^{\text{secure}} \approx \tilde{R}_{D_1}^{\text{secure}} = 0.5 \sum_i t_i \times \left[ \log \left( 1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r}} \right) - \log \left( 1 + \frac{p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r}} \right) \right] - \frac{\eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r} + p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_2,i}} (p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p] - p_{D_1,i}^{\text{secure}} [t_p - 1]) \quad (29-3)$$

و  $R_{D_2}^{\text{secure}}$  که در رابطه (31-3) نشان داده شده است نیز به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$R_{D_2}^{\text{secure}} \approx \tilde{R}_{D_2}^{\text{secure}} = 0.5 \sum_i t_i \times \left[ \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r}} \right) - \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r}} \right) \right] - \frac{\eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r} + p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_1,i}} (p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p] - p_{D_2,i}^{\text{secure}} [t_p - 1]) \quad (30-3)$$

و  $R_S$  که در رابطه (31-3) نشان داده شده است نیز توسط بسط اول تیلور به صورت زیر تقریب زده

می‌شود:

$$R_S \approx \tilde{R}_S = 0.5 \sum_{i=1}^M t_i \left[ \log \left( 1 + \frac{p_{S,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,S,i}}{N_{S,r}} \right) + \frac{\eta_{r,S,i}}{N_{S,i} + p_{S,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,S,i}} (p_{S,i} [t_p] - p_{S,i} [t_p - 1]) \right] \quad (31-3)$$

با تقریبات بالا، مسئله‌ی ذکر شده در (۳-۱۳) تا (۳-۱۷) به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$\max_{p_{S,i}^{\text{secure}}, p_{D_{1,i}}^{\text{secure}}, p_{D_{2,i}}^{\text{secure}}, p_{D_{1,i}}^{\text{nonsecure}}, p_{D_{2,i}}^{\text{nonsecure}}} R_S \quad (32-3)$$

$$\text{subject to:} \quad \tilde{R}_S \leq \tilde{R}_D \quad (33-3)$$

$$\sum_{i=1}^M u_S(i) \leq U_T \quad (34-3)$$

$$\sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \sum_{i=1}^i E_r(i) \quad \text{for } i = 1, \dots, M \quad (35-3)$$

$$\sum_{i=1}^{i+1} E_r(i) - \sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \beta_r^{\max} \quad \text{for } i = 1, \dots, M - 1 \quad (36-3)$$

که  $\tilde{R}_D$  در رابطه‌ی (۳-۳۳) به صورت زیر است:

$$\tilde{R}_D = \tilde{R}_{D_1}^{\text{secure}} + \tilde{R}_{D_2}^{\text{secure}} + \tilde{R}_{D_1}^{\text{non-secure}} + \tilde{R}_{D_2}^{\text{non-secure}} \quad (37-3)$$

### ۳-۱-۳ نتایج شبیه‌سازی

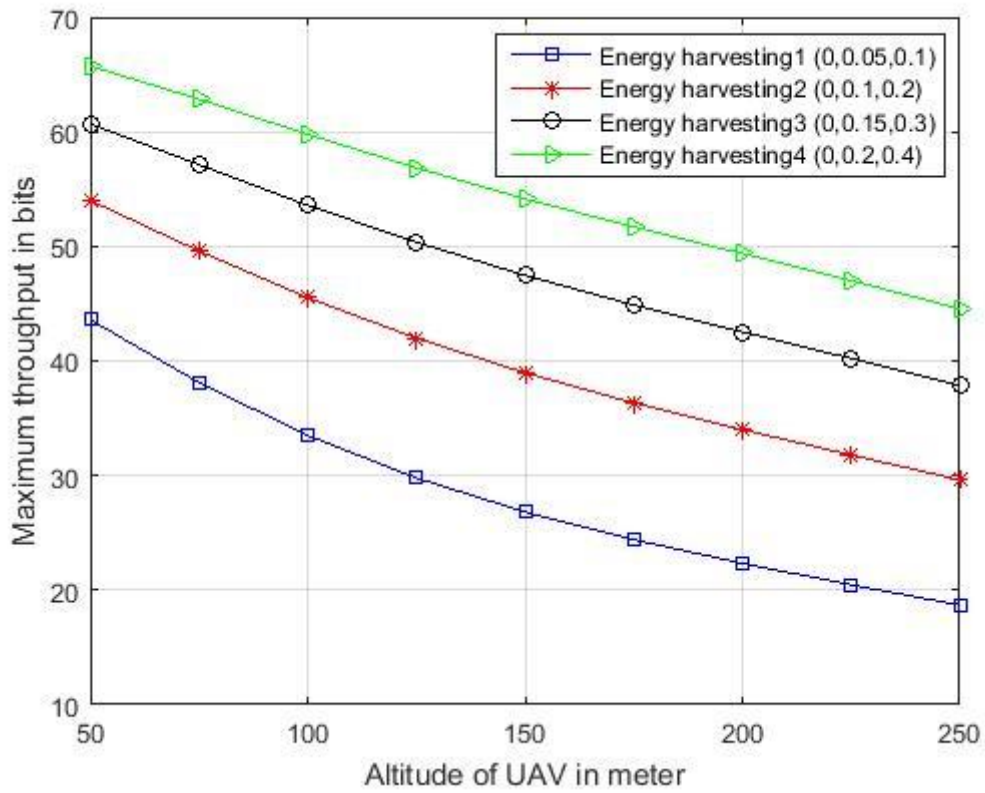
در این بخش نتایج شبیه‌سازی را که عملکرد طرح ما را ارزیابی می‌کند، بیان می‌کنیم. فرض می‌کنیم که میزان نویز  $10^{-8}$  وات، میزان  $\eta$ ،  $\beta_0$  و  $\gamma$  در رابطه‌ی بهره‌ی کانال به ترتیب ۱،  $10^{-2}$  و ۲، مقادیر  $a$  و  $b$  در رابطه  $P_{\text{LoS}}(\theta)$  به ترتیب ۹.۶۱ و ۰.۱۶ و سرعت حرکت UAV برابر  $V=10$  (m/s) می‌باشد. فاصله بین دو کاربر گیرنده ۹۰ متر است و مقدار کل انرژی فرستنده به  $U_T = 200$  ژول محدود می‌شود. ارتفاع UAV را از ۵۰ تا ۲۵۰ متر تغییر می‌دهیم و مقدار بیشینه اطلاعات ارسالی را برای مقادیر متفاوت انرژی برداشتی توسط UAV در شکل (۳-۲) رسم می‌کنیم. ما فرض می‌کنیم که طول مسیر ارتباطی برای ارسال سیگنال از فرستنده به UAV و همچنین طول مسیر ارسال سیگنال

از UAV به دو گیرنده برای ارتفاع‌های مختلف ثابت می‌باشد. طول مسیر ثابت برای ارسال سیگنال از فرستنده به UAV به گونه‌ای انتخاب شده است که در ارتفاع ۲۵۰ متر، در نقطه‌ی شروع و پایان ارسال سیگنال،  $p_{\text{LoS}}(\theta) = 0.9$  باشد. از آنجا که طول مسیر ارتباطی در ارتفاع‌های مختلف ثابت می‌باشد، مقدار  $\theta$  برای ارتفاع‌های مختلف، متفاوت خواهد شد که سبب می‌شود در هر بخش زمانی میزان احتمال‌های دید مستقیم و دید غیر مستقیم متفاوتی برای ارتفاع‌های مختلف تولید شوند.

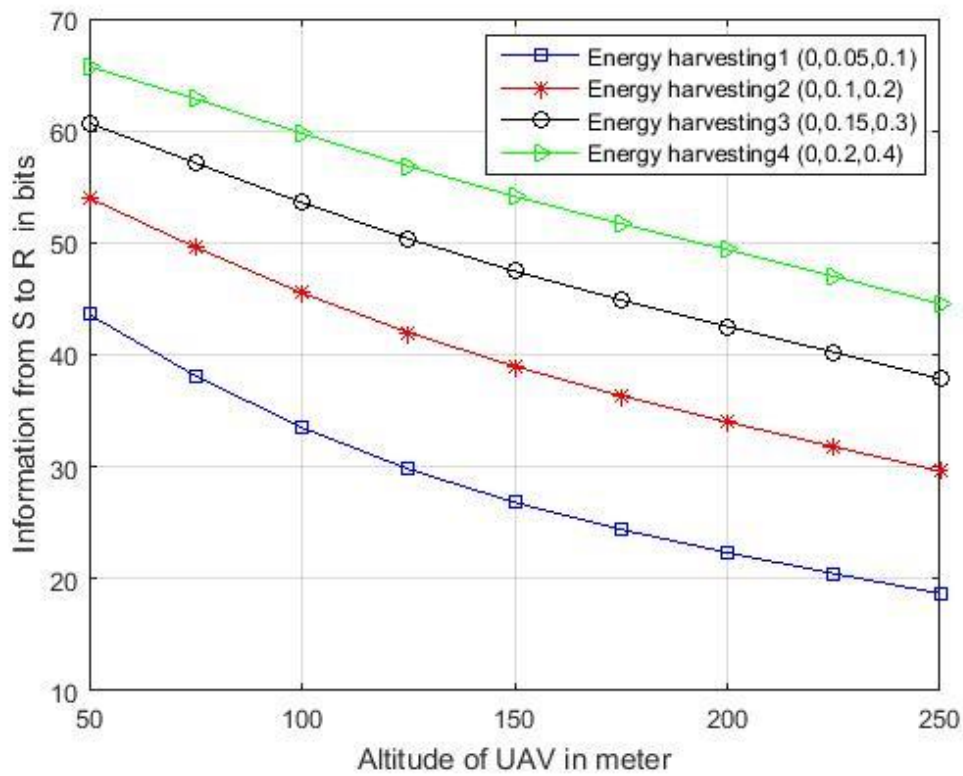
برای محاسبه‌ی طول مسیر ارتباطی ارسال سیگنال از UAV به دو گیرنده، مقدار  $\theta$  را طوری انتخاب می‌کنیم که  $p_{\text{LoS}}(\theta) = 0.9$  باشد. با استفاده از این  $\theta$  مسیر ارتباطات رو به پایین<sup>۱</sup> از نقطه‌ای بین فرستنده و گیرنده‌ی اول که  $p_{\text{LoS}}(\theta)$  برای اولین گیرنده ۰,۹ باشد شروع می‌شود، در این نقطه احتمال  $p_{\text{LoS}}(\theta)$  برای گیرنده‌ی دوم کمتر از ۰,۹ می‌باشد و در نقطه‌ای بعد از گیرنده‌ی دوم که  $p_{\text{LoS}}(\theta)$  برای گیرنده‌ی دوم ۰,۹ باشد پایان می‌پذیرد. در نقطه‌ی پایان  $p_{\text{LoS}}(\theta)$  برای گیرنده‌ی اول کمتر از ۰,۹ می‌باشد. از این طول مسیر همانند ارتباطات رو به بالا برای ارتفاعات متفاوت استفاده نمودیم. مقدار برداشت‌های انرژی را به گونه‌ای تعیین نمودیم که فاز دوم ارسال تعیین کننده‌ی میزان ارسال باشد. همان طور که در شکل (۳-۲) مشاهده می‌شود که مقدار بیشینه‌ی اطلاعات ارسالی با افزایش ارتفاع UAV کاهش می‌یابد. این رخداد به این دلیل است که هر چه ارتفاع حرکت UAV افزایش یابد، توان سیگنال ارسالی از فرستنده به دلیل کاهش ظرفیت کانال در اثر کاهش بهره‌ی کانال‌های ارتباطی کاهش می‌یابد. به علاوه هر چه میزان برداشت انرژی افزایش می‌یابد مقدار بیشینه اطلاعات ارسالی سیستم افزایش می‌یابد. زیرا فاز دوم ارسال تعیین کننده می‌باشد و هر چه میزان برداشت انرژی بیشتر باشد، UAV می‌تواند اطلاعات بیشتری را برای دو گیرنده ارسال نماید.

---

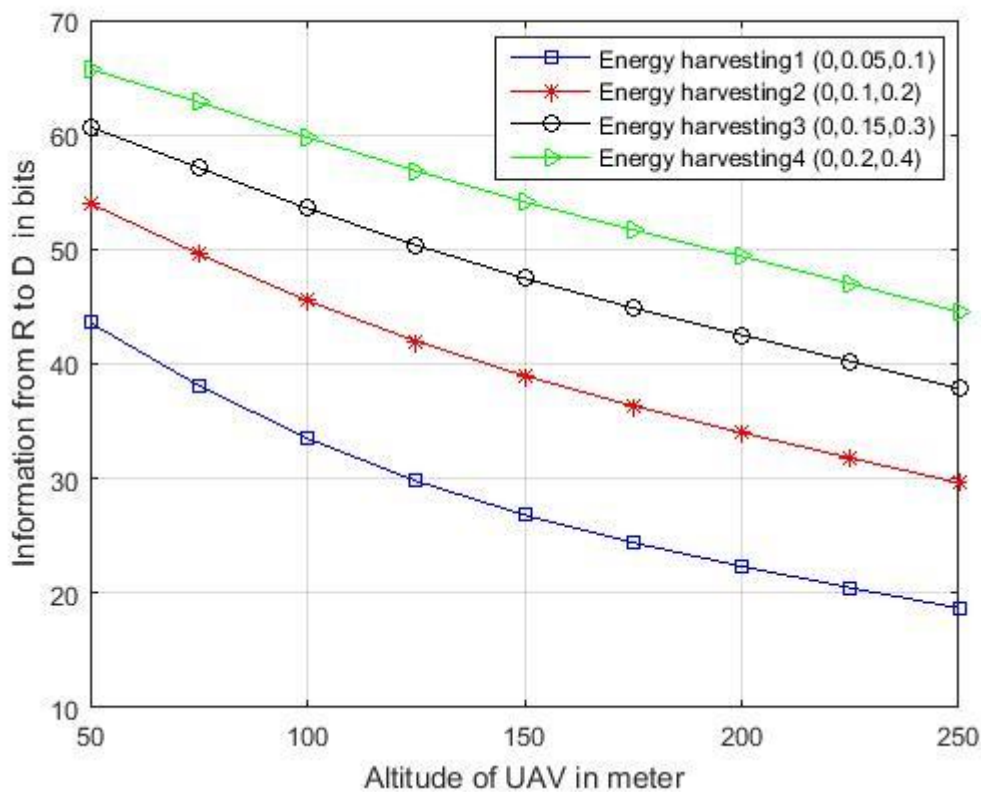
<sup>۱</sup> Downlink Communication



شکل (۳-۲): بیشینه پروندهی



شکل (۳-۲): میزان اطلاعات ارسالی از فرستنده به رله



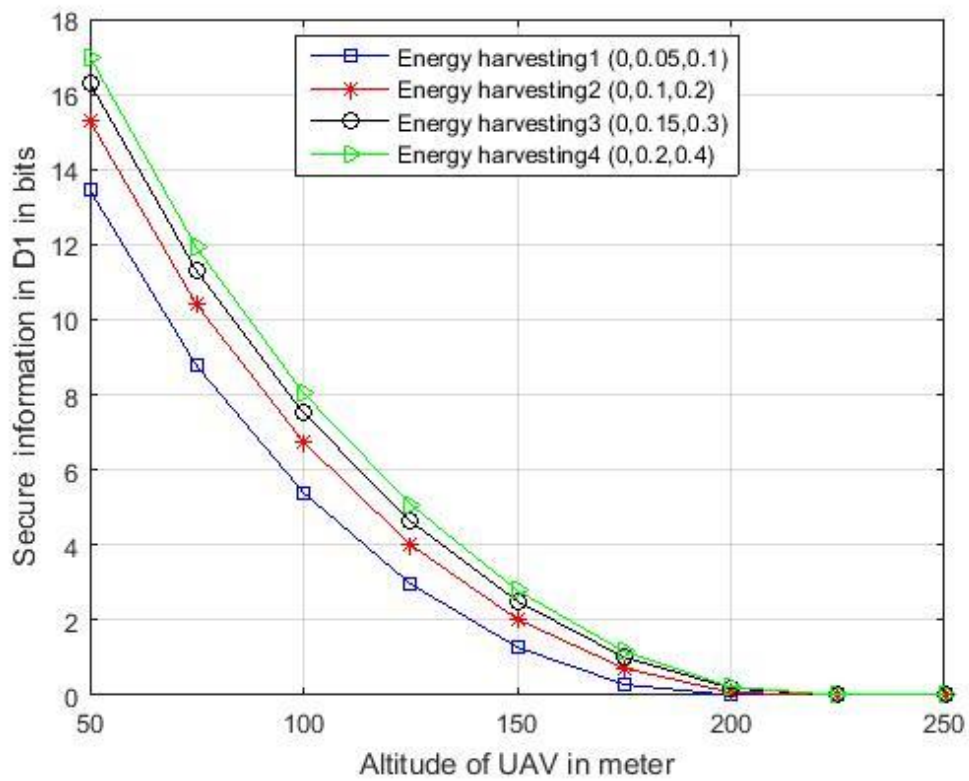
شکل (۳-۴): میزان اطلاعات ارسالی از رله به گیرنده‌ها

شکل‌های (۳-۳) و (۳-۴) به ترتیب میزان اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV و میزان اطلاعات ارسالی از UAV به دو گیرنده را نشان می‌دهد. اگر شکل (۲-۳) را با شکل‌های (۳-۳) و (۳-۴) مقایسه کنیم می‌بینیم که میزان اطلاعات این سه شکل با هم برابر می‌باشد. این نتیجه گویای آن است که الگوریتم ما به جواب بهینه دست یافته است زیرا در جواب بهینه باید میزان اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV با میزان اطلاعات ارسالی به دو گیرنده برابر باشد.

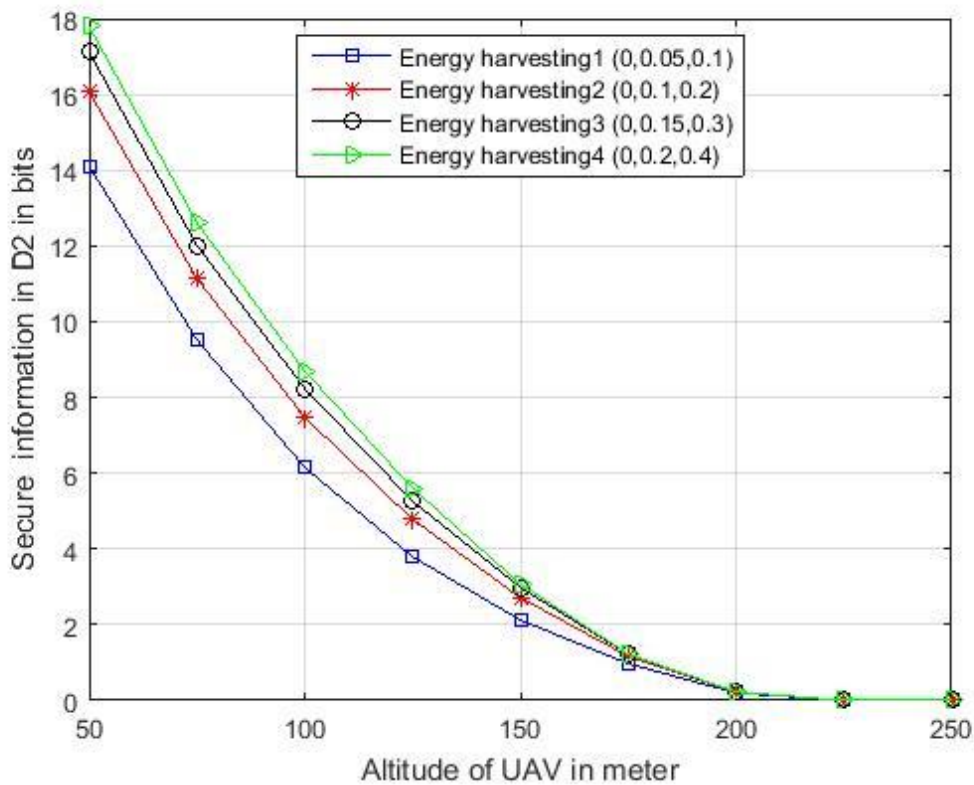
شکل (۳-۵) مقدار اطلاعات امن مربوط به گیرنده‌ی اول را بر حسب افزایش ارتفاع و همچنین با تغییر میزان برداشت انرژی نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع میزان اطلاعات امن گیرنده‌ی اول کاهش می‌یابد. این رخداد به این دلیل است که در کانال‌هایی که سیگنال امن برای گیرنده اول ارسال می‌شوند بهره‌ی کانال گیرنده‌ی اول زیاد و بهره‌ی کانال گیرنده‌ی دوم کم می‌باشد. در این کانال‌ها میزان بهره‌ی کانال  $D_1$  که در نقش کانال اصلی می‌باشد با افزایش

ارتفاع کاهش می‌یابد زیرا تاثیر افزایش ارتفاع و در نتیجه تأثیر افزایش فاصله‌ی بین UAV و گیرنده اول بر افزایش احتمال حضور کانال در مستقیم غلبه دارد و در نتیجه ظرفیت کانال اصلی با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد و اما میزان بهره‌ی کانال  $D_2$  با افزایش ارتفاع به دلیل غلبه‌ی تأثیر افزایش احتمال حضور کانال در دید مستقیم بر افزایش فاصله‌ی بین UAV و گیرنده دوم، افزایش یافته در نتیجه اطلاعات امن گیرنده‌ی اول که تفاضل بین اطلاعات کانال اصلی و اطلاعات کانال شنودگر می‌باشد به شدت با افزایش ارتفاع افت می‌کند. به علاوه هر چه میزان برداشت انرژی افزایش می‌یابد مقدار اطلاعات امن گیرنده‌ی اول افزایش می‌یابد زیرا فاز دوم ارسال تعیین کننده می‌باشد و هر چه میزان برداشت انرژی بیشتر باشد، UAV می‌تواند اطلاعات بیشتری را برای گیرنده اول ارسال نماید.

شکل (۳-۶) مقدار اطلاعات امن مربوط به گیرنده‌ی دوم را بر حسب افزایش ارتفاع و همچنین تغییر میزان برداشت انرژی نشان می‌دهد. شکل (۳-۶) مانند شکل (۳-۵) قابل توجیه است یعنی در کانال‌هایی سیگنال امن برای گیرنده‌ی دوم ارسال می‌شود که بهره کانال گیرنده‌ی دوم زیاد و بهره‌ی کانال گیرنده‌ی اول کم باشد. در این کانال‌ها بهره‌ی کانال‌های گیرنده دوم با افزایش ارتفاع به دلیل غلبه‌ی افزایش فاصله‌ی بین گیرنده دوم و UAV بر افزایش احتمال حضور در دید مستقیم کاهش یافته و بهره‌ی کانال‌های گیرنده‌ی اول به دلیل غلبه‌ی افزایش احتمال دید مستقیم بر افزایش فاصله بین UAV و گیرنده‌ی اول، افزایش یافته و در نتیجه میزان اطلاعات امن دریافتی گیرنده‌ی دوم نیز با افزایش ارتفاع به شدت افت می‌کند. به علاوه هر چه میزان برداشت انرژی افزایش می‌یابد مقدار اطلاعات امن گیرنده‌ی دوم افزایش می‌یابد زیرا فاز دوم ارسال تعیین کننده می‌باشد و هر چه میزان برداشت انرژی بیشتر باشد، UAV می‌تواند اطلاعات بیشتری را برای گیرنده‌ی دوم ارسال نماید.



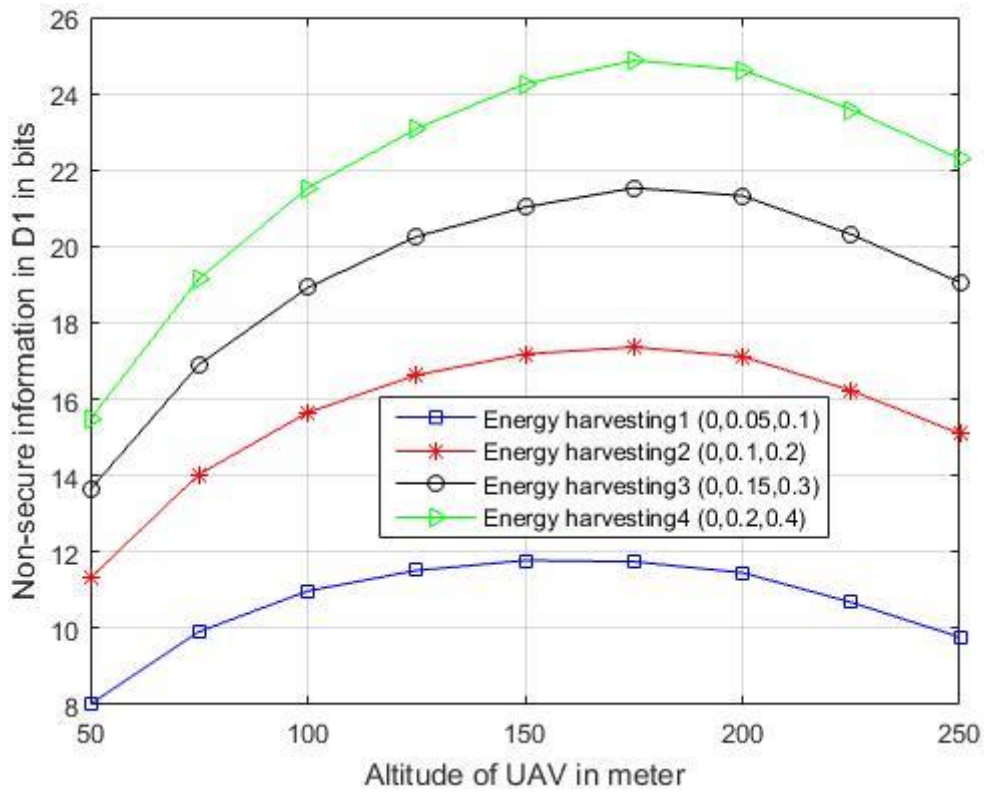
شکل (۳-۵): اطلاعات امن برای گیرنده اول



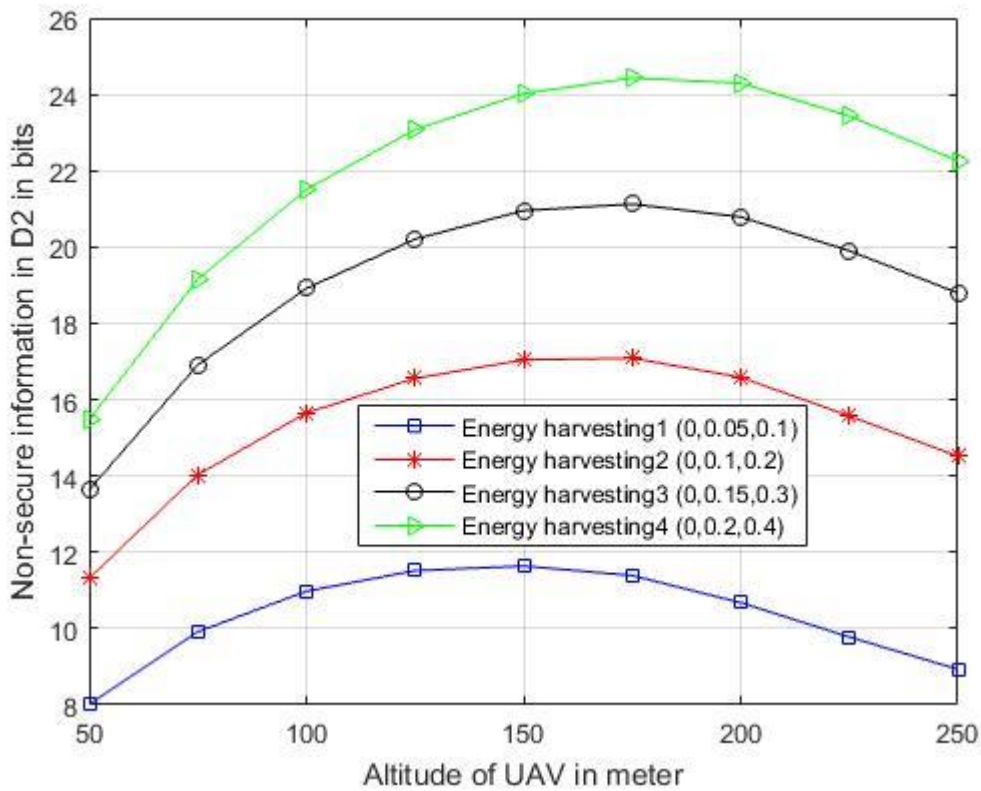
شکل (۳-۶): اطلاعات امن برای گیرنده دوم

شکل‌های (۷-۳) و (۸-۳) به ترتیب مقدار اطلاعات غیر امن مربوط به گیرنده‌ی اول و اطلاعات غیر امن گیرنده‌ی دوم را بر حسب افزایش ارتفاع حرکت UAV و همچنین تغییر میزان برداشت انرژی نشان می‌دهد. همان طور که در این دو شکل مشاهده می‌شود تا ارتفاع ۱۵۰ متر با افزایش ارتفاع میزان اطلاعات غیر امن گیرنده‌ی اول و دوم افزایش می‌یابد و برای ارتفاع‌های بالاتر از ۱۵۰ متر با افزایش ارتفاع میزان اطلاعات غیر امن گیرنده‌ی اول و گیرنده‌ی دوم کاهش می‌یابد. این رخداد به این دلیل است که در کانال‌هایی که سیگنال غیر امن برای گیرنده اول و همچنین کانال‌هایی که سیگنال غیر امن برای گیرنده‌ی دوم ارسال می‌شوند به ترتیب میزان بهره‌ی کانال  $D_1$  و همچنین میزان بهره‌ی کانال  $D_2$  با افزایش ارتفاع به دلیل غلبه‌ی افزایش فاصله کانال ارتباطی بر احتمال حضور کانال در دید مستقیم، کاهش می‌یابد و از آنجا که اطلاعات غیر امن گیرنده‌ی اول هم به سیگنال غیر امن کانال اول و هم سیگنال امن گیرنده‌ی دوم وابسته می‌باشد و همچنین اطلاعات غیر امن گیرنده‌ی دوم هم به سیگنال غیر امن کانال دوم و هم سیگنال امن گیرنده‌ی اول وابسته می‌باشد و همان طور که در دو شکل قبل توضیح دادیم اطلاعات امن با افزایش ارتفاع به شدت کاهش می‌یابد و رابطه‌ی اطلاعات غیر امن با اطلاعات امن مطابق با رابطه‌های (۲۲-۳) و (۲۳-۳) به صورت عکس می‌باشد تا ارتفاع حدود ۱۵۰ متر این تأثیر کاهش اطلاعات امن باعث افزایش اطلاعات غیر امن خواهد شد اما از ارتفاع ۱۵۰ متر به بعد میزان اطلاعات امن ناچیز خواهد شد و در نتیجه دیگر تاثیری روی اطلاعات غیر امن نخواهد داشت و با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش بهره‌ی کانال میزان اطلاعات غیر امن برای گیرنده‌ی اول و گیرنده‌ی دوم کاهش خواهد یافت. به علاوه هر چه میزان برداشت انرژی افزایش یابد، مقدار اطلاعات غیر امن برای گیرنده اول و گیرنده‌ی دوم افزایش می‌یابد. زیرا فاز دوم ارسال تعیین کننده می‌باشد و هر چه میزان برداشت انرژی بیشتر باشد، UAV می‌تواند اطلاعات بیشتری را برای دو گیرنده ارسال نماید.



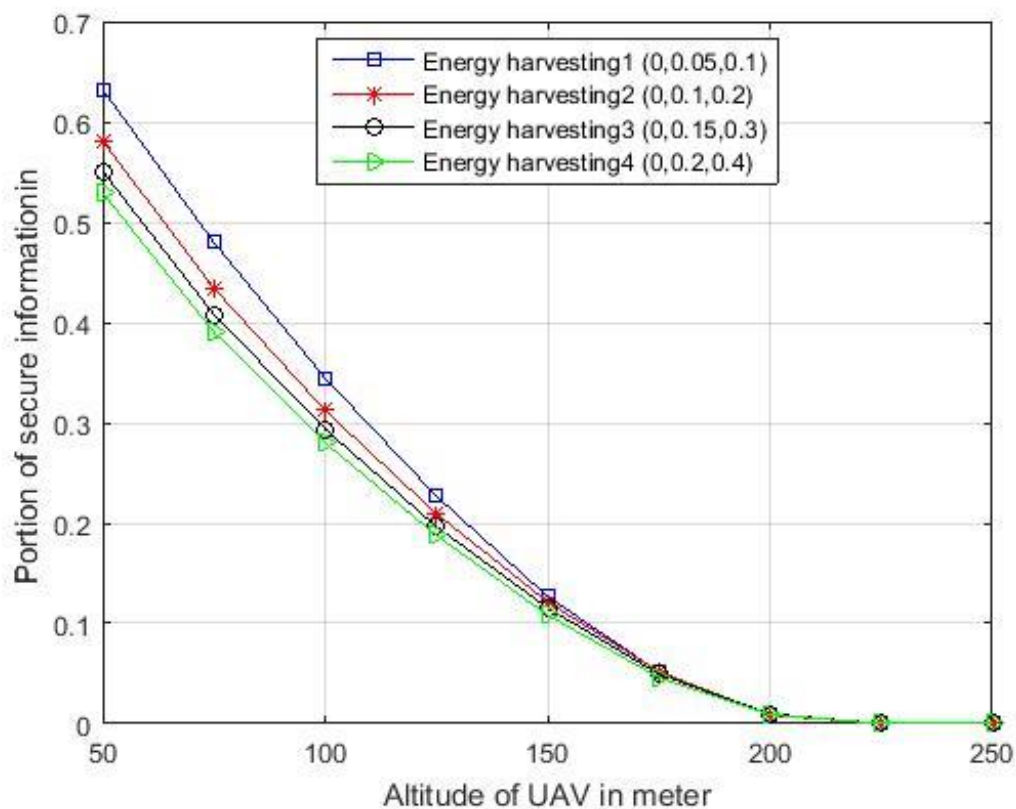


شکل (۳-۷): اطلاعات غیر امن در گیرنده اول



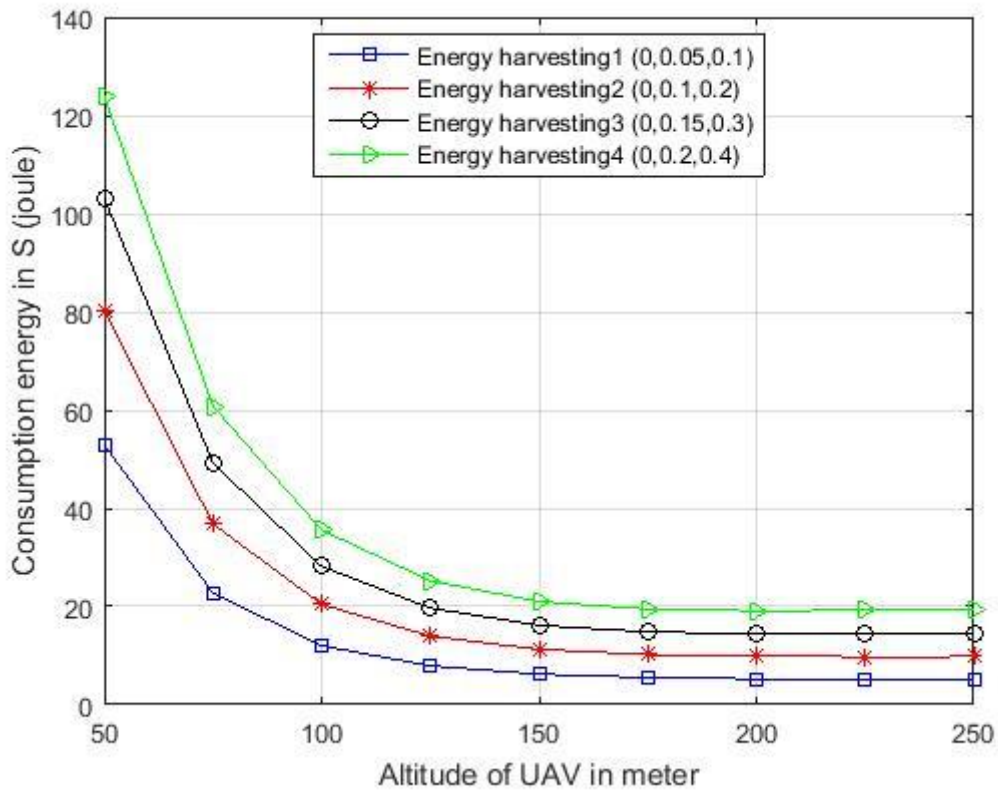
شکل (۳-۸): اطلاعات غیر امن در گیرنده دوم

شکل (۳-۹) نسبت اطلاعات امن به کل اطلاعات را بر حسب افزایش ارتفاع و برای انرژی‌های برداشتی مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود میزان نسبی اطلاعات امن با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند زیرا میزان اطلاعات امن برای گیرنده  $D_1$  و هم برای گیرنده  $D_2$  همان‌طور که در شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶) مشاهده شد به شدت با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. با افزایش میزان برداشت انرژی نسبت اطلاعات امن به کل اطلاعات کاهش می‌یابد زیرا رابطه‌های اطلاعات امن برای گیرنده  $D_1$  و هم برای گیرنده  $D_2$ ، تفاضل نرخ کانال اصلی و نرخ کانال شنودگر است و با افزایش توان  $P_{D_1}^{\text{secure}}$  و  $P_{D_2}^{\text{secure}}$  میزان تغییر اطلاعات امن از میزان تغییر اطلاعات غیر امن با افزایش توان  $P_{D_1}^{\text{nonsecure}}$  و  $P_{D_2}^{\text{nonsecure}}$  با توجه به رابطه‌های اطلاعات غیر امن برای گیرنده  $D_1$  و  $D_2$  کمتر می‌باشد و از آنجا که هدف سیستم بیشینه‌سازی اطلاعات می‌باشد بهینه است که این افزایش انرژی بیشتر روی اطلاعات غیر امن تاثیر بگذارد تا بروندهی بهینه شود.



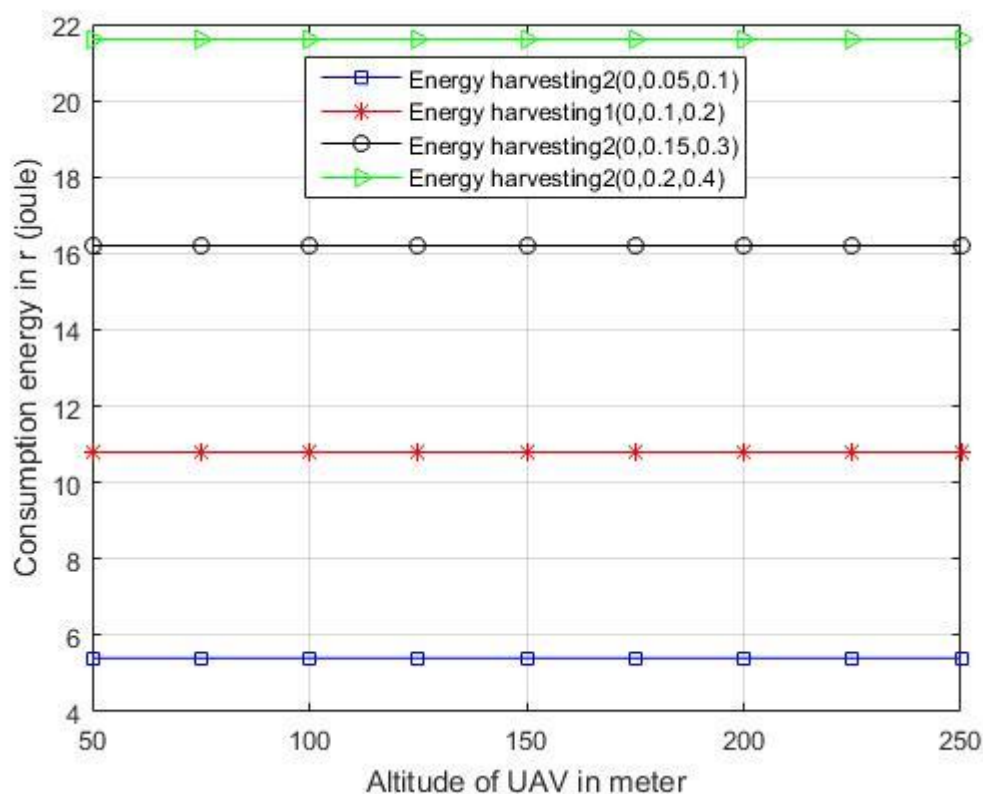
شکل (۳-۹): میزان اطلاعات امن به کل اطلاعات

شکل (۳-۱۰) مقدار انرژی مصرفی توسط فرستنده بر حسب ارتفاع و برای مقادیر مختلف برداشت انرژی نشان می‌دهد. همان طور که این شکل نشان می‌دهد مقدار انرژی مصرفی توسط فرستنده با افزایش ارتفاع تا ارتفاع ۱۵۰ متر کاهش می‌یابد. این رخداد به این دلیل است که در سمت فرستنده بهره‌ی کانال در همه‌ی بخش‌های زمانی به طور عمده در دید مستقیم می‌باشد و با افزایش ارتفاع بهره‌ی کانال کاهش می‌یابد اما در گیرنده‌ها در تعدادی از بخش‌های زمانی کانال ارتباطی به صورت عمده در دید غیر مستقیم می‌باشد و در نتیجه اطلاعات انتقالی از رله به گیرنده‌ها علاوه بر افت به دلیل افزایش ارتفاع با افت بیشتری به دلیل کانال‌های دید غیر مستقیم روبرو می‌باشد بنابراین فرستنده میزان انرژی ارسالی را کم می‌کند تا مقدار اطلاعات ارسالی خود را کم کند در نتیجه قید مسئله بهینه‌سازی که باید اطلاعات ارسالی توسط فرستنده کمتر مساوی اطلاعات ارسالی توسط رله به دو گیرنده باشد رعایت شود. اما از ارتفاع حدود ۱۵۰ متر به بعد هم در فرستنده و هم در گیرنده‌ها کانال‌ها به صورت عمده در دید مستقیم قرار دارند در نتیجه بهره‌های کانال‌های فرستنده و گیرنده با افزایش ارتفاع متناسب با هم بر حسب ارتفاع تغییر می‌کنند، در نتیجه انرژی مصرفی فرستنده تقریباً ثابت باقی می‌ماند. به علاوه هر چه میزان برداشت انرژی افزایش یابد مقدار انرژی مصرفی فرستنده نیز افزایش می‌یابد زیرا فاز دوم ارسال تعیین کننده می‌باشد و هر چه میزان برداشت انرژی بیشتر باشد، UAV می‌تواند اطلاعات بیشتری را برای دو گیرنده ارسال نماید در نتیجه میزان اطلاعات ارسالی توسط فرستنده هم باید افزایش یابد تا قید مسئله بهینه‌سازی که باید اطلاعات ارسالی توسط فرستنده کمتر مساوی اطلاعات ارسالی توسط رله به دو گیرنده باشد رعایت شود بنابراین فرستنده باید انرژی بیشتری را مصرف نماید تا میزان اطلاعات ارسالی خود را افزایش دهد.



شکل (۳-۱۰): انرژی مصرفی در فرستنده

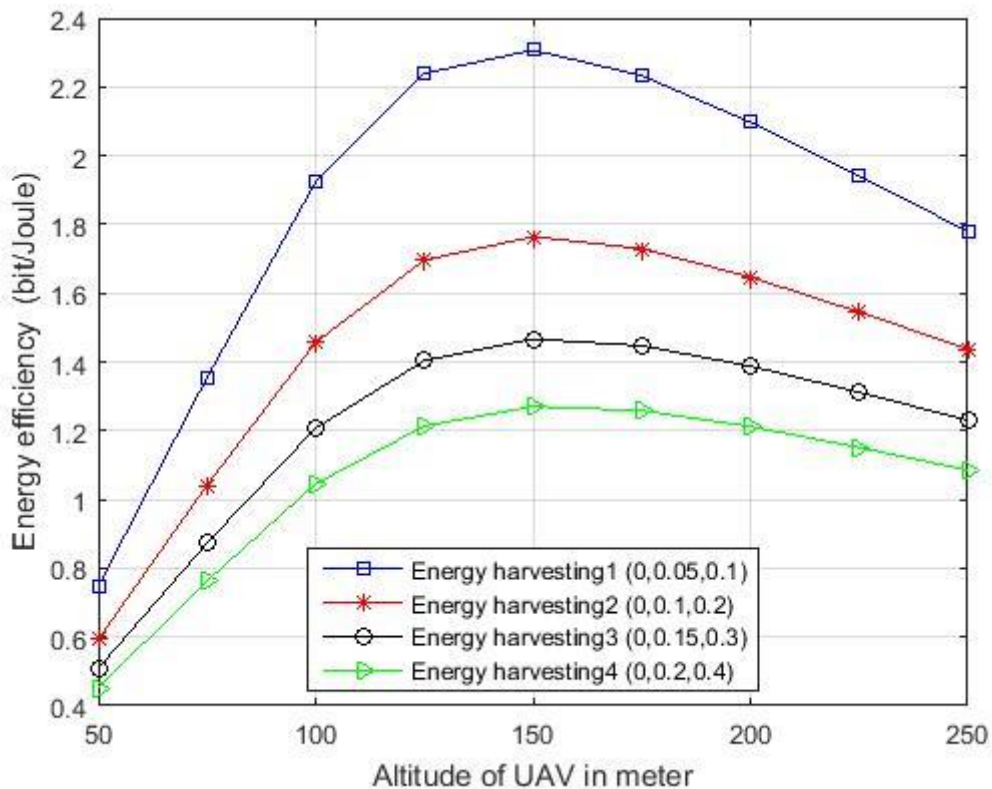
شکل (۳-۱۱) میزان انرژی مصرفی توسط رله را بر حسب ارتفاع و برای انرژی‌های برداشتی مختلف نشان می‌دهد. همان طور که این شکل نشان می‌دهد برای هر برداشت انرژی با افزایش ارتفاع میزان انرژی مصرفی توسط رله ثابت می‌باشد. این رخداد به این دلیل است که از آنجا که فاز دوم ارسال تعیین کننده می‌باشد و هدف مسئله نیز بیشینه‌سازی برون‌دهی می‌باشد رله از همه‌ی انرژی برداشتی خود استفاده می‌کند تا مقدار برون‌دهی را بیشینه نماید و هر چه که میزان برداشت انرژی افزایش یابد میزان انرژی مصرفی توسط رله نیز افزایش می‌یابد زیرا رله از همه انرژی برداشتی استفاده می‌نماید.



شکل (۳-۱۱): انرژی مصرفی در رله

شکل (۳-۱۲) کارایی انرژی را بر حسب ارتفاع برای مقادیر مختلف برداشت انرژی نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود میزان کارایی انرژی با افزایش ارتفاع از ۵۰ متر تا ارتفاع ۱۵۰ متر، افزایش یافته و از ارتفاع ۱۵۰ متر به بعد میزان کارایی انرژی کاهش می‌یابد. این رخداد به این دلیل است که از یک طرف با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش بهره‌ی کانال در اثر افزایش فاصله‌ی ارتباطی، میزان برونده‌ی کاهش می‌یابد و از طرف دیگر با افزایش ارتفاع میزان انرژی مصرفی توسط رله ثابت و میزان انرژی مصرفی توسط فرستنده مطابق با شکل (۳-۱۰) کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان کل انرژی مصرفی کاهش می‌یابد اما از آنجا که میزان کاهش انرژی مصرفی از میزان کاهش برونده‌ی بیشتر می‌باشد بنابراین میزان کارایی انرژی با افزایش ارتفاع از ۵۰ متر تا ارتفاع ۱۵۰ متر، افزایش می‌یابد و سپس از ارتفاع ۱۵۰ متر به بعد به دلیل ثابت ماندن تقریبی انرژی فرستنده و در نتیجه ثابت ماندن کل انرژی مصرفی و کاهش برونده‌ی میزان کارایی انرژی کاهش می‌یابد. به

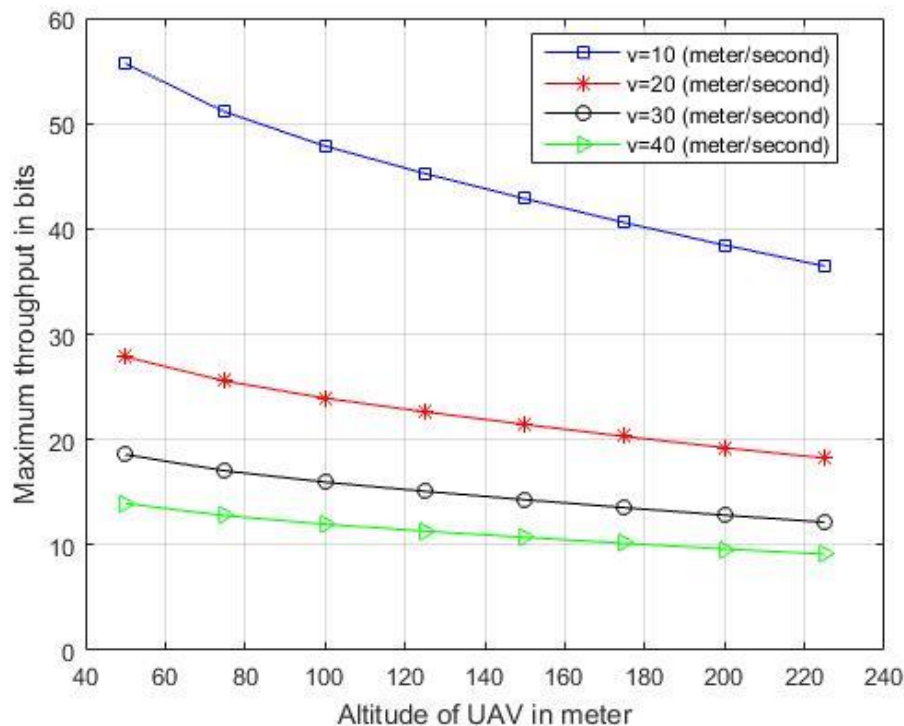
علاوه هر چه میزان برداشت انرژی افزایش یابد مقدار انرژی مصرفی فرستنده افزایش می‌یابد زیرا فاز دوم ارسال تعیین کننده می‌باشد و هر چه میزان برداشت انرژی بیشتر باشد، میزان اطلاعات ارسالی توسط فرستنده هم باید افزایش یابد و فرستنده به این منظور باید انرژی بیشتری را مصرف نماید. اما افزایش نسبی برون‌دهی ناشی از افزایش برداشت انرژی از افزایش نسبی انرژی مصرفی فرستنده و در نتیجه افزایش کل انرژی مصرفی کمتر می‌باشد در نتیجه با افزایش برداشت انرژی میزان کارایی انرژی کاهش می‌یابد.



شکل (۳-۱۲): کارایی انرژی

شکل (۳-۱۳) میزان برون‌دهی را بر حسب ارتفاع و برای سرعت‌های متفاوت نشان می‌دهد. همان‌طور که در نتایج قبل توضیح داده شد میزان برون‌دهی با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش بهره‌ی کانال کاهش می‌یابد. اما هنگامی که سرعت حرکت UAV زیاد می‌شود به دلیل آنکه رله زمان کمتری برای دریافت

و ارسال اطلاعات دارد، میزان اطلاعات انتقالی با افزایش سرعت حرکت UAV کاهش می‌یابد در واقع میزان برون‌دهی با افزایش سرعت حرکت UAV کاهش می‌یابد.



شکل (۲-۱۳): میزان برون‌دهی بر حسب ارتفاع بر اساس سرعت‌های متفاوت

## ۲-۳ بخش دوم: تخصیص منابع بدون در نظر گرفتن بحث امنیتی

### ۱-۲-۳ سیستم مدل پیشنهادی

در این بخش می‌خواهیم دو سیستم مدل را شرح داده و سپس عملکرد این دو سیستم مدل را با هم مقایسه نماییم. هر دو سیستم مدل مانند سیستم مدل بخش اول شامل چهار گره یعنی یک فرستنده، یک رله و دو گیرنده می‌باشند. فرستنده می‌خواهد اطلاعاتی را به دو گیرنده ارسال نماید. دو گیرنده آنقدر از هم دور می‌باشند که ارتباط مستقیم بین آن‌ها ممکن نیست. بنابراین از یک UAV به

عنوان رله DF استفاده می‌شود تا اطلاعات فرستنده را به دو گیرنده انتقال دهد. ما فرض می‌کنیم که UAV در یک خط مستقیم در ارتفاع ثابت H متر و با سرعت ثابت V متر بر ثانیه از فرستنده به سمت دو گیرنده حرکت می‌کند.

وقتی که UAV از روی فرستنده عبور می‌کند، اطلاعات در نظر گرفته شده برای گیرنده‌ها را در یک دوره‌ی زمانی دریافت می‌کند. UAV اطلاعات دریافتی را کدگشایی می‌کند و در حافظه‌اش ذخیره سازی می‌کند. در سیستم مدل اول وقتی که UAV به گیرنده‌ها نزدیک می‌شود، این اطلاعات را با استفاده از تکنیک NOMA به آن‌ها ارسال می‌کند. در سیستم مدل دوم هنگامی که UAV به گیرنده‌ها نزدیک می‌شود، این اطلاعات را با استفاده از تکنیک OMA به آن‌ها ارسال می‌کند. در این دو سیستم مدل اطلاعات غیر امن ارسال می‌شود در واقع از تکنیک امنیت لایه فیزیکی استفاده نمی‌کنیم. در هر دو سیستم مدل اول و دوم، فرستنده هنگامی اطلاعات را به UAV می‌فرستد که احتمال آنکه ارتباط بین UAV و فرستنده تحت دید مستقیم باشد، بالاتر از یک مقدار آستانه از قبل تعریف شده باشد، یعنی  $p_{\text{LoS}}(\theta) \geq \varepsilon$  باشد که  $P_{\text{LoS}}(\theta)$  به صورت زیر است:

$$P_{\text{LoS}}(\theta) = \frac{1}{1 + a \exp(-b(\theta - a))} \quad (38-3)$$

در رابطه‌ی (38-3)،  $a$  و  $b$  مقادیر ثابتی هستند که به فرکانس حامل و نوع محیط بستگی دارند و  $\theta$  نیز زاویه سیگنال ارسالی با سطح افق است. مسیر مربوط به ارسال سیگنال توسط فرستنده به بخش‌هایی با طول مساوی تقسیم می‌شود که فرض می‌شود بهره‌ی کانال در هر بخش به صورت تقریبی ثابت است. فرستنده اطلاعات جداگانه‌ای را با توان ثابت در هر بخش می‌فرستد. برای بهره‌ی کانال ما تنها افت مسیر را در نظر گرفته‌ایم که رابطه‌ی بهره‌ی کانال به صورت زیر است:

$$g = p_{\text{LoS}}(\theta) \times \beta_0 \times d^{-\gamma} + p_{\text{NLoS}}(\theta) \times \eta \times \beta_0 \times d^{-\gamma} \quad (39-3)$$

در رابطه‌ی (39-3)،  $d$  فاصله‌ی بین آنتن فرستنده و گیرنده‌ی سیگنال،  $\beta_0$  مرجع بهره‌ی توان کانال در فاصله یک متر و  $\gamma$  مؤلفه‌ی افت مسیر است. فرستنده مقدار انرژی محدودی برای ارسال اطلاعات



به UAV دارد که با  $U_T$  نمایش داده می‌شود و مقدار انرژی  $u_s(i)$  را در هر بخش مصرف می‌کند. بنابراین مقدار اطلاعات ارسالی به UAV در بخش  $i$  ام به صورت زیر است:

$$r_s(i) = 0.5 \times t_i \times \log\left(1 + \frac{P_{s,i} \times \eta_{r,s,i}}{N_{r,s}}\right) \quad (40-3)$$

بنابراین کل اطلاعاتی که فرستنده می‌تواند روی کل مسیر به UAV ارسال نماید به صورت زیر است:

$$R_s = 0.5 \times \sum_{i=1}^M t_i \log\left(1 + \frac{P_{s,i} \times \eta_{r,s,i}}{N_{r,s}}\right) \quad (41-3)$$

در هر دو سیستم مدل مانند بخش اول فرض می‌کنیم که UAV از نقطه‌ای که احتمال دید مستقیم بین UAV و گیرنده  $D_1$  برابر با مقدار آستانه از قبل تعریف شده باشد، می‌تواند اطلاعات را شروع به ارسال نماید و در نقطه‌ای که احتمال دید مستقیم بین UAV و گیرنده  $D_2$  برابر با مقدار آستانه از قبل تعریف شده باشد، به ارسال اطلاعات پایان دهد. همچنین مانند قبل مسیر حرکت به چندین بخش با طول مساوی تقسیم می‌شود که در هر بخش به صورت تقریبی بهره‌ی کانال ارتباطی بین UAV و دو گیرنده تقریباً ثابت است.

### ۲-۲-۳ فرمول‌بندی و حل مسئله

در این بخش فرمول‌بندی و حل سیستم مدل پیشنهادی یک بار وقتی که ارسال سیگنال از UAV به دو گیرنده با تکنیک NOMA انجام می‌شود و بار دیگر هنگامی که ارسال سیگنال از UAV به دو گیرنده با تکنیک OMA انجام می‌شود ارائه شده است.

### ۱-۲-۲-۳ فرمول‌بندی و حل مسئله با تکنیک NOMA

هدف ما طراحی تخصیص منابع به گونه‌ای است که کل اطلاعات ارسالی تحت محدودیت‌های انرژی ارسالی، انرژی برداشتی و سر ریز باتری بیشینه شود. در واقع هدف ما حل مسئله‌ی بهینه‌سازی زیر است [۳۳]:

$$\max_{P_{S,i}, P_{D_1,i}, P_{D_2,i}} R_S \quad (42-3)$$

$$\text{subject to: } R_S \leq R_D \quad (43-3)$$

$$\sum_{i=1}^M u_S(i) \leq U_T \quad (44-3)$$

$$\sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \sum_{i=1}^i E_r(i) \quad \text{for } i = 1, \dots, M \quad (45-3)$$

$$\sum_{i=1}^{i+1} E_r(i) - \sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \beta_r^{\max} \quad \text{for } i = 1, \dots, M - 1 \quad (46-3)$$

در رابطه‌ی (۴۴-۳)،  $u_S(i)$  انرژی ارسالی توسط فرستنده در بخش  $i$  ام و  $U_T$  مقدار انرژی موجود در باتری فرستنده، در رابطه‌ی (۴۵-۳)،  $u_D(i)$  مقدار انرژی ارسالی توسط رله به دو گیرنده در بخش  $i$  ام و  $E_r(i)$  مقدار انرژی برداشتی در باتری رله در بخش  $i$  ام و در رابطه‌ی (۴۶-۳)،  $\beta_r^{\max}$  حداکثر ظرفیت انرژی باتری رله می‌باشد. در رابطه‌های (۴۲-۳) و (۴۳-۳)  $R_S$  و  $R_D$  به صورت زیر هستند:

$$R_S = 0.5 \sum_{i=1}^M t_i \log\left(1 + \frac{P_{S,i} \times \eta_{r,S,i}}{N_{r,S}}\right) \quad (47-3)$$

$$R_D = R_{D_1} + R_{D_2} \quad (48-3)$$

اگر فرض کنیم که شرایط کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_1$  نسبت به کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_2$  بهتر باشد، در این حالت UAV می‌تواند اطلاعات را هم برای  $D_1$  و هم برای  $D_2$  ارسال نماید. از آنجا که ما افت مسیر را در نظر گرفتیم، شرایط کانال با فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده مشخص می‌شود یعنی اگر گیرنده‌ی  $D_1$  نسبت به گیرنده‌ی  $D_2$  به UAV نزدیکتر باشد، کانال گیرنده‌ی  $D_1$  نسبت به کانال گیرنده‌ی  $D_2$  بهتر می‌باشد. در این حالت گیرنده‌ی  $D_1$  سیگنال گیرنده‌ی  $D_2$  را کدگشایی می‌کند و این سیگنال را از سیگنال دریافتی حذف می‌کند و سپس سیگنال خود را کدگشایی می‌کند. اگر فرض کنیم که  $p_{D_1,i}$  توان سیگنال ارسالی توسط UAV به گیرنده‌ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام،  $p_{D_2,i}$  توان سیگنال ارسالی از UAV به گیرنده  $D_2$  در بخش  $i$  ام،  $\eta_{r,D_1,i}$  بهره‌ی کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_1$  در بخش  $i$  ام،  $\eta_{r,D_2,i}$  بهره‌ی کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_2$  در بخش  $i$  ام،  $N_{r,D_1}$  نویز کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_1$  و  $N_{r,D_2}$  نویز کانال بین UAV و گیرنده‌ی  $D_2$  و

در  $D_2$  و  $r_{D_1}(i)$  به ترتیب اطلاعات دریافتی گیرنده  $D_1$  و اطلاعات دریافتی گیرنده  $D_2$  در بخش  $i$  ام باشند، هنگامی که کانال گیرنده  $D_1$  نسبت به کانال گیرنده  $D_2$  بهتر می باشد، روابط زیر برقرار است:

$$r_{D_1}(i) = 0.5 \times t_i \log\left(1 + \frac{P_{D_1,i} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) \quad (49-3)$$

$$r_{D_2}(i) = 0.5 \times t_i \log\left(1 + \frac{P_{D_2,i} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2} + P_{D_1,i} \times \eta_{r,D_2,i}}\right) \quad (50-3)$$

و هنگامی که کانال گیرنده  $D_2$  نسبت به کانال گیرنده  $D_1$  بهتر باشد گیرنده  $D_2$  سیگنال گیرنده  $D_1$  را کدگشایی می کند و این سیگنال را از سیگنال دریافتی حذف می کند و سپس سیگنال خود را کدگشایی می کند. بنابراین روابط زیر برقرار است:

$$r_{D_2}(i) = 0.5 \times t_i \log\left(1 + \frac{P_{D_2,i} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) \quad (51-3)$$

$$r_{D_1}(i) = 0.5 \times t_i \log\left(1 + \frac{P_{D_1,i} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1} + P_{D_2,i} \times \eta_{r,D_1,i}}\right) \quad (52-3)$$

در نتیجه کل اطلاعات دریافتی گیرنده  $D_1$  و گیرنده  $D_2$  به ترتیب به صورت زیر می باشد:

$$R_{D_1} = \sum_i r_{D_1}(i) \quad (53-3)$$

$$R_{D_2} = \sum_i r_{D_2}(i) \quad (54-3)$$

رابطه  $(42-3)$  تابع هدف مسئله بهینه سازی می باشد، در واقع هدف بهینه سازی کل اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV می باشد. رابطه  $(43-3)$  بیان می کند که کل اطلاعات ارسالی از فرستنده به UAV  $(R_S)$  باید از کل اطلاعات ارسالی از UAV به گیرنده ها  $(R_D)$  کمتر باشد. رابطه  $(44-3)$  بیان می کند که کل انرژی مصرفی توسط فرستنده باید از  $U_T$  کمتر باشد. رابطه  $(45-3)$  بیان می کند که در هر بخش انرژی مصرفی توسط UAV باید از انرژی در دسترس درون باتری کمتر باشد. رابطه  $(46-3)$  محدودیت سرریز باتری است که به این معنی است که انرژی مورد مصرف در هر بخش باید به گونه ای باشد که انرژی برداشتی جدیدی که در باتری ذخیره می شود، سبب سرریز باتری نشود. مسئله بهینه سازی مطرح شده در رابطه های  $(42-3)$  تا  $(46-3)$  یک مسئله بهینه سازی غیر محدب می باشد

در نتیجه حل آن از طریق حل مسائل محدب سخت می‌باشد. این عدم محدب بودن مسئله‌ی بهینه‌سازی مذکور به دلیل قید مطرح شده در رابطه‌ی (۳-۴۳) می‌باشد زیرا عبارت طرف کوچکتر نامساوی باید محدب و عبارت طرف بزرگتر نامساوی باید مقعر باشد ولی در این قید این دو شرط برقرار نیست. برای حل مسئله بهینه‌سازی غیر محدب مذکور، از روش SCA استفاده می‌نماییم که مسئله اصلی را به مسئله تبدیل می‌کند که به صورت محدب تقریب زده شده است و می‌تواند توسط ابزارهای مرسوم بهینه‌سازی مانند CVX حل شود. برای تقریب از تکنیک D.C. و بسط تیلور استفاده نمودیم و نتایج زیر به دست می‌آید:

$$R_S \approx \tilde{R}_S = 0.5 \sum_{i=1}^M t_i \left[ \log\left(1 + \frac{p_{S,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,S,i}}{N_{S,r}}\right) + \frac{\eta_{r,S,i}}{N_{S,i} + p_{S,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,S,i}} (p_{S,i} [t_p] - p_{S,i} [t_p - 1]) \right] \quad (۳-۵۵)$$

که  $R_S$  کل اطلاعات ارسالی توسط فرستنده به رله است که در رابطه‌ی (۳-۴۷) داده شده است و به صورت رابطه‌ی (۳-۵۵) تقریب زده می‌شود. اگر کانال گیرنده‌ی  $D_1$  نسبت به کانال گیرنده‌ی  $D_2$  بهتر باشد  $r_{D_1}(i)$  مقعر است اما  $r_{D_2}(i)$  مقعر نیست و طبق رابطه‌ی (۳-۵۷) آن را تقریب می‌زنیم:

$$r_{D_1}(i) = 0.5 \times t_i \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) \quad (۳-۵۶)$$

$$r_{D_2}(i) \approx \tilde{r}_{D_2}(i) = 0.5 \times t_i \left[ \log\left(1 + \frac{(p_{D_2,i} + p_{D_1,i}) \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r}}\right) - \log\left(1 + \frac{p_{D_1,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r}}\right) - \frac{\eta_{r,D_2,i}}{N_{D_2,r} + p_{D_1,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_2,i}} \times (p_{D_1,i} [t_p] - p_{D_1,i} [t_p - 1]) \right] \quad (۳-۵۷)$$

اگر کانال گیرنده‌ی  $D_2$  نسبت به کانال گیرنده‌ی  $D_1$  بهتر باشد،  $r_{D_2}(i)$  مقعر است اما  $r_{D_1}(i)$  مقعر نیست و آن را به صورت رابطه‌ی (۳-۵۸) تقریب می‌زنیم:

$$r_{D_1}(i) \approx \tilde{r}_{D_1}(i) = 0.5 \times t_i \left[ \log \left( 1 + \frac{(p_{D_1,i} + p_{D_2,i}) \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{D_2,r}} \right) - \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r}} \right) \right] - \frac{\eta_{r,D_1,i}}{N_{D_1,r} + p_{D_2,i} [t_p - 1] \times \eta_{r,D_2,i}} \times (p_{D_2,i} [t_p] - p_{D_2,i} [t_p - 1])$$

(۵۸-۳)

$$r_{D_2}(i) = 0.5 \times t_i \log \left( 1 + \frac{p_{D_2,i} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}} \right)$$

(۵۹-۳)

در نتیجه داریم:

$$\tilde{R}_{D_1} = \sum_i r_{D_1}(i)$$

(۶۰-۳)

$$\tilde{R}_{D_2} = \sum_i r_{D_2}(i)$$

(۶۱-۳)

$$\tilde{R}_D = \tilde{R}_{D_1} + \tilde{R}_{D_2}$$

(۶۲-۳)

با تقریبات ذکر شده در بالا، مسئله‌ی ذکر شده در (۴۲-۳) تا (۴۶-۳) به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$\max_{P_{S,i}, P_{D_1,i}, P_{D_2,i}} R_S$$

(۶۳-۳)

$$\text{subject to: } \tilde{R}_S \leq \tilde{R}_D$$

(۶۴-۳)

$$\sum_{i=1}^M u_S(i) \leq U_T$$

(۶۵-۳)

$$\sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \sum_{i=1}^i E_r(i) \quad \text{for } i = 1, \dots, M$$

(۶۶-۳)

$$\sum_{i=1}^{i+1} E_r(i) - \sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \beta_r^{\max} \quad \text{for } i = 1, \dots, M - 1$$

(۶۷-۳)

### ۳-۲-۲-۲ فرمول بندی و حل مسئله با تکنیک OMA

هدف ما طراحی تخصیص منابع به گونه‌ای است که کل اطلاعات ارسالی تحت محدودیت‌های انرژی ارسالی، انرژی برداشتی و سر ریز باتری بیشینه شود. در واقع هدف ما حل مسئله‌ی بهینه‌سازی زیر

است:

$$\max_{P_{S,i}, P_{D_1,i}, P_{D_2,i}} R_S \quad (68-3)$$

$$\text{subject to: } R_S \leq R_D \quad (69-3)$$

$$\sum_{i=1}^M u_S(i) \leq U_T \quad (70-3)$$

$$\sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \sum_{i=1}^i E_r(i) \quad \text{for } i = 1, \dots, M \quad (71-3)$$

$$\sum_{i=1}^{i+1} E_r(i) - \sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \beta_r^{\max} \quad \text{for } i = 1, \dots, M-1 \quad (72-3)$$

در رابطه‌ی (۷۰-۳)، انرژی ارسالی توسط فرستنده در بخش  $i$  ام و  $U_T$  مقدار انرژی موجود در باتری فرستنده، در رابطه‌ی (۷۱-۳)، مقدار انرژی ارسالی توسط رله به دو گیرنده در بخش  $i$  ام و  $E_r(i)$  مقدار انرژی برداشتی در باتری رله در بخش  $i$  ام و در رابطه‌ی (۷۲-۳)، حداکثر ظرفیت انرژی باتری رله می‌باشد. در رابطه‌های (۶۸-۳) و (۶۹-۳)  $R_S$  و  $R_D$  به صورت زیر هستند:

$$R_S = 0.5 \sum_{i=1}^M t_i \log\left(1 + \frac{P_{S,i} \times \eta_{r,S,i}}{N_{r,S}}\right) \quad (73-3)$$

$$R_D = R_{D_1} + R_{D_2} \quad (74-3)$$

در سیستم مدل دوم UAV اطلاعات دریافتی را بر اساس تکنیک OMA برای دو گیرنده ارسال می‌کند. مسیر حرکت UAV مانند سیستم مدل اول در نظر گرفته می‌شود. همچنین مانند قبل مسیر ارسال سیگنال به چندین بخش با طول مساوی تقسیم می‌شود که در هر بخش به صورت تقریبی بهره‌ی کانال ارتباطی بین UAV و دو گیرنده تقریباً ثابت است. در حالت OMA رله در هر بخش زمانی در نیمی از زمان اطلاعات گیرنده‌ی  $D_1$  و در نیمی از زمان هم اطلاعات گیرنده‌ی  $D_2$  را ارسال می‌نماید. بنابراین روابط زیر برقرار است [۳۶]:

$$R_{D_1} = 0.25 \sum_{i=1}^M t_i \log\left(1 + \frac{P_{D_1,i} \times \eta_{r,D_1,i}}{N_{r,D_1}}\right) \quad (75-3)$$

$$R_{D_2} = 0.25 \sum_{i=1}^M t_i \log\left(1 + \frac{P_{D_2,i} \times \eta_{r,D_2,i}}{N_{r,D_2}}\right) \quad (76-3)$$

برای آنکه مسئله محدب شود  $R_S$  بر اساس روش بسط اول تیلور به صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$R_S \approx \tilde{R}_S = 0.5 \sum_{i=1}^M t_i \left[ \log \left( 1 + \frac{p_{S,i}[t_p - 1] \times \eta_{r,S,i}}{N_{S,r}} \right) + \frac{\eta_{r,S,i}}{N_{S,i} + p_{S,i}[t_p - 1] \times \eta_{r,S,i}} (p_{S,i}[t_p] - p_{S,i}[t_p - 1]) \right] \quad (77-3)$$

در نتیجه با تقریب ذکر شده در (77-3)، مسئله‌ی بهینه‌سازی مطرح شده در (68-3) تا (72-3) به

صورت زیر تقریب زده می‌شود:

$$\max_{p_{S,i}, p_{D_1,i}, p_{D_2,i}} R_S \quad (78-3)$$

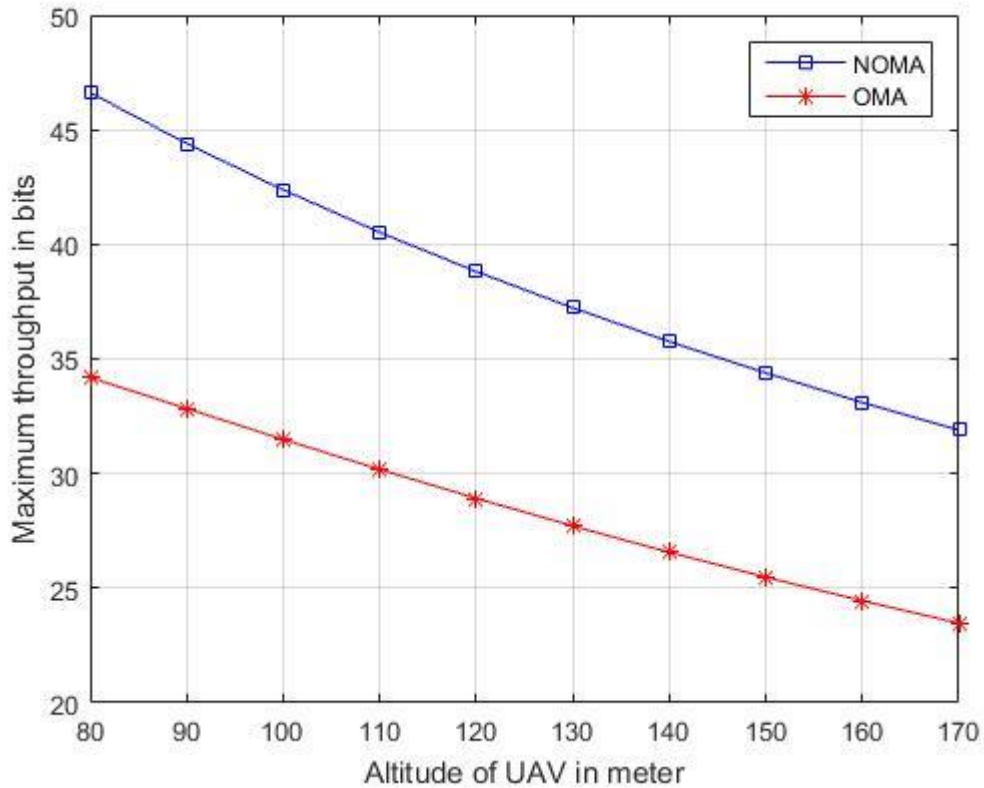
$$\text{subject to: } \tilde{R}_S \leq R_D \quad (79-3)$$

$$\sum_{i=1}^M u_S(i) \leq U_T \quad (80-3)$$

$$\sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \sum_{i=1}^i E_r(i) \quad \text{for } i = 1, \dots, M \quad (81-3)$$

$$\sum_{i=1}^{i+1} E_r(i) - \sum_{i=1}^i u_D(i) \leq \beta_r^{\max} \quad \text{for } i = 1, \dots, M - 1 \quad (82-3)$$

### ۳-۲-۳ نتیجه شبیه‌سازی



شکل (۳-۱۴): بیشینه برون‌دهی برای تکنیک NOMA و OMA بر حسب ارتفاع

شکل (۳-۱۴) نمودار بیشینه برون‌دهی بر حسب ارتفاع حرکت UAV را برای دو تکنیک ارسال سیگنال از رله به گیرنده‌ها یعنی تکنیک NOMA و OMA نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود میزان برون‌دهی هنگامی که از تکنیک NOMA استفاده می‌شود از میزان برون‌دهی هنگامی که از تکنیک OMA استفاده می‌شود بیشتر می‌باشد زیرا هنگامی که از تکنیک NOMA استفاده می‌شود رله می‌تواند به صورت همزمان سیگنال‌های دو گیرنده را ارسال نماید ولی در تکنیک OMA رله، سیگنال هر یک از گیرنده‌ها را در نیمی از زمان هر کانال ارتباطی می‌فرستد.



## ۳-۲-۴ مقایسه حل سیستم مدل اول با روش SCA و حل با روش

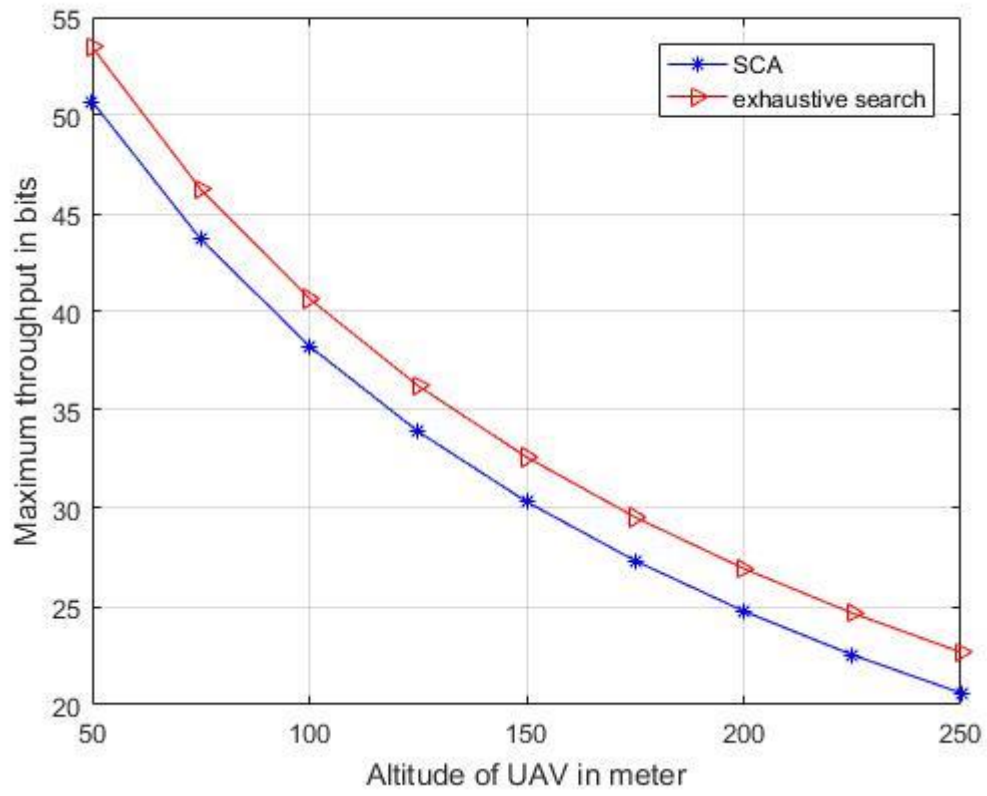
### جستجوی فراگیر

در حل مسائل بهینه‌سازی می‌توان از روش‌هایی مانند جستجوی فراگیر<sup>۱</sup> و SCA استفاده نمود. در روش جستجوی فراگیر باید برای تمامی متغیرهای مسئله، تمامی حالت‌هایی را که ممکن است آن متغیر داشته باشد، در نظر گرفت البته با این شرط که تمامی قیدهای مسئله رعایت شود. با این کار تمامی حالت‌های ممکن برای جواب مسئله تشکیل می‌شود. سپس با توجه به هدف مسئله در بین تمامی حالت‌های جواب ممکن جستجو می‌شود و بهترین جوابی که متناظر با هدف مسئله است به عنوان جواب مسئله بهینه‌سازی تعیین می‌شود. در واقع این روش تمامی حالات جواب ممکن را بررسی می‌کند تا به جواب بهینه برسد.

روش جستجوی فراگیر، حل بهینه‌ی مسئله را پیدا می‌کند ولی پیچیدگی محاسباتی بسیار بالایی دارد و یافتن به جواب بهینه زمان‌بر می‌باشد، بنابراین خیلی مناسب نیست که از روش جستجوی فراگیر برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده گردد. در این قسمت سیستم مدل اول بخش دوم فصل سه را که در آن رله سیگنال را با تکنیک NOMA به دو گیرنده ارسال می‌کرد و با روش SCA حل شده بود بار دیگر به روش جستجوی فراگیر حل نمودیم و نتیجه‌ی شبیه‌سازی به این دو روش را در شکل (۳-۱۵) نشان داده‌ایم. شکل (۳-۱۵) پیشینه‌ی برون‌دهی را بر حسب ارتفاع حرکت UAV و برای دو روش حل SCA و جستجوی فراگیر نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود جواب حل به روش SCA به جواب بهینه که به روش جستجوی فراگیر به دست آمده است نزدیک می‌باشد.

---

<sup>۱</sup> Exhaustive Search



شکل (۳-۱۵): بیشینه برون‌دهی برای تکنیک NOMA با روش SCA و جستجوی فراگیر

# فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها

## ۴-۱ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش تقاضا برای استفاده از نرخ بالاتر داده‌ها در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم پیش‌بینی می‌شود که دیگر نسل چهارم مخابرات پاسخگوی نیازها در سال ۲۰۲۰ نباشد. به این منظور لازم است که از نسل پنجم مخابرات استفاده گردد. با به کارگیری UAVها به عنوان قسمتی از شبکه‌های بی‌سیم می‌توان به برخی از ویژگی‌های شبکه‌های نسل پنجم دست یافت. با کاهش اندازه UAVها می‌توان از آن‌ها به عنوان رله برای بهبود کانال ارتباطی، پوشش‌دهی بیشتر کاربران زمینی، فراهم آوردن لینک‌های ارتباطی LOS، کم کردن محوشوندگی و قطع و کم کردن توان ارسالی در شبکه‌های نسل پنجم استفاده کرد. رله‌ها در شبکه‌های مخابراتی سیگنال دریافتی از گره مبدأ را به گره مقصد ارسال می‌کنند. استفاده از UAV به عنوان رله در شبکه مخابراتی سبب گسترش شبکه‌های بی‌سیم می‌شود. همچنین از موارد اساسی که در نسل پنجم مخابرات باید به آن توجه داشت لایه فیزیکی و ملزومات آن مانند روش دسترسی و تخصیص منابع می‌باشد.

هدف اصلی این پایان‌نامه پیشینه‌سازی اطلاعات ارسالی از فرستنده به دو گیرنده می‌باشد. به این منظور یک شبکه شامل چهار گره در نظر گرفته‌ایم که این چهار گره شامل یک گره فرستنده، یک گره رله و دو گره گیرنده بر روی یک مسیر مستقیم می‌باشد. فرض می‌شود که لینک ارتباطی مستقیم بین فرستنده و دو گیرنده ممکن نمی‌باشد بنابراین از یک UAV به عنوان رله‌ی DF استفاده شده است که در ارتفاع ثابت H و با سرعت ثابت V در مسیری مستقیم از فرستنده به سمت دو گیرنده حرکت می‌کند. در ابتدا رله برای ارسال سیگنال به دو گیرنده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد، امنیت لایه فیزیکی و برداشت انرژی استفاده می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع میزان برون‌دهی کاهش، با افزایش برداشت انرژی برون‌دهی افزایش و با افزایش سرعت حرکت UAV برون‌دهی کاهش می‌یابد.

سپس سیستم مدلی بررسی شد که اطلاعات ارسالی تنها شامل اطلاعات غیر امن می‌باشد. نتایج

شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میزان بروندهی، هنگامی که برای ارسال اطلاعات از رله به دو گیرنده از روش دسترسی چندگانه غیر متعامد استفاده می‌شود نسبت به زمانی که برای ارسال اطلاعات از رله به دو گیرنده از روش دسترسی چندگانه متعامد استفاده می‌شود بیشتر می‌باشد. همچنین روش شبیه‌سازی این پایان‌نامه را با روش جستجوی فراگیر مقایسه نمودیم که نتایج نشان می‌دهد که جواب روش به کار رفته در این پایان‌نامه به جواب بهینه نزدیک می‌باشد.

## ۲-۴ پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده

با توجه به اینکه استفاده از UAV اهمیت زیادی در سیستم‌های مخابراتی به منظور افزایش ظرفیت شبکه و افزایش پوشش‌دهی و افزایش میزان ارتباطات LoS دارند، به همین منظور مطالعات گسترده‌ای درباره‌ی به کارگیری UAV در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم در دست انجام است. در این قسمت پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌کنیم:

- بهینه‌سازی مسیر حرکت UAV به گونه‌ای که نرخ ارسال در شبکه بیشینه گردد و از تکنیک‌های NOMA و امنیت لایه‌ی فیزیکی نیز استفاده گردد.
- بهینه‌سازی تعداد UAVها به طوری که نرخ ارسال داده در شبکه بیشینه شود و از تکنیک‌های NOMA و امنیت لایه‌ی فیزیکی نیز استفاده گردد.
- به کارگیری UAV در شبکه‌های ذخیره‌سازی محتوا
- به کارگیری UAV در شبکه‌های IoT و استفاده از تکنیک‌های NOMA و امنیت لایه‌ی فیزیکی
- به کارگیری UAV به عنوان رله و وجود فرستنده و گیرنده‌های متحرک و استفاده از تکنیک‌های NOMA و امنیت لایه‌ی فیزیکی

## مراجع

- [1] F. Ono, H. Ochiai, and R. Miura, "A wireless relay network based on unmanned aircraft system with rate optimization," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 11, pp. 7699-7708, 2016.
- [2] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 36-42, 2016.
- [3] Cisco, *Visual Networking Index: The Zettabyte Era: Trends and Analysis*, Cisco: White Paper, 2017.
- [4] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. Soong, and J. C. Zhang, "What will 5G be?," *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1065-1082, 2014.
- [5] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Mobile unmanned aerial vehicles (UAVs) for energy-efficient internet of things communications," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 11, pp. 7574-7589, 2017.
- [6] M. Peng, Y. Li, Z. Zhao, and C. Wang, "System architecture and key technologies for 5G heterogeneous cloud radio access networks," *IEEE network*, vol. 29, no. 2, pp. 6-14, 2015.
- [7] R. K. Saha and C. Aswakul, "Fundamentals of 5G mobile network," vol. 1: R&D NextEVOlution, 2016.
- [8] L. Sboui, H. Ghazzai, Z. Rezki, and M.-S. Alouini, "Achievable rates of UAV-relayed cooperative cognitive radio MIMO systems," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 5190-5204, 2017.
- [9] A. Hourani, K. Sithampanathan, and S. Lardner, "Optimal LAP altitude for maximum coverage," *IEEE Wireless Communication Letters*, vol. 3, no. 99, pp. 1-4, 2014.
- [10] R. I. Bor-Yaliniz, A. El-Keyi, and H. Yanikomeroglu, "Efficient 3-D placement of an aerial base station in next generation cellular networks," in *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 1-5.
- [11] S. Yin, J. Tan, and L. Li, "UAV-assisted Cooperative Communications with Wireless Information and Power Transfer," *arXiv preprint arXiv:1710.00174*, 2017.

- [12] H. Wang, J. Wang, G. Ding, L. Wang, T. A. Tsiftsis, and P. K. Sharma, "Resource Allocation for Energy Harvesting-Powered D2D Communication Underlying UAV-Assisted Networks," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 2017.
- [13] B. He, A. Liu, N. Yang, and V. K. Lau, "On the design of secure non-orthogonal multiple access systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 10, pp. 2196-2206, 2017.
- [14] P. Wang, G. Yu, and Z. Zhang, "On the secrecy capacity of fading wireless channel with multiple eavesdroppers," in *Information Theory, 2007. ISIT 2007. IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 1301-1305.
- [15] X. Wang, M. Tao, J. Mo, and Y. Xu, "Power and subcarrier allocation for physical-layer security in OFDMA-based broadband wireless networks," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 6, no. 3, pp. 693-702, 2011.
- [16] A. Minasian, "Cooperative energy-harvesting communication systems," Master.thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto (Canada), 2014.
- [17] A. Minasian, S. ShahbazPanahi, and R. S. Adve, "Energy harvesting cooperative communication systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, no. 11, pp. 6118-6131, 2014.
- [18] M. N. Soorki, M. Mozaffari, W. Saad, M. H. Manshaei, and H. Saida, "Resource allocation for machine-to-machine communications with unmanned aerial vehicles," in *Globecom Workshops (GC Wkshps), 2016 IEEE*, 2016, pp. 1-6.
- [19] H. Zanjie, N. Hiroki, K. Nei, O. Fumie, M. Ryu, and Z. Baohua, "Resource allocation for data gathering in UAV-aided wireless sensor networks," in *Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC), 2014 4th IEEE International Conference on*, 2014, pp. 11-16.
- [20] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Mobile Internet of Things: Can UAVs provide an energy-efficient mobile architecture?," in *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2016 IEEE*, 2016, pp. 1-6.
- [21] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Drone small cells in the clouds: Design, deployment and performance analysis," in *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2015 IEEE*, 2015, pp. 1-6.
- [22] Y. Zeng, R. Zhang, and T. J. Lim, "Throughput maximization for mobile relaying systems," in *Globecom Workshops (GC Wkshps), 2016 IEEE*, 2016, pp. 1-6.
- [23] Q. Wu, Y. Zeng, and R. Zhang, "Joint trajectory and communication design for multi-UAV enabled wireless networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 3, pp. 2109-2121, 2018.

- [24] J. Zhang, Y. Zeng, and R. Zhang, "Spectrum and energy efficiency maximization in UAV-enabled mobile relaying," in *Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on*, 2017, pp. 1-6.
- [25] D.-T. Ho, E. I. Grötli, and T. A. Johansen, "Heuristic algorithm and cooperative relay for energy efficient data collection with a UAV and WSN," in *Computing, Management and Telecommunications (ComManTel), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 346-351.
- [26] J. Lyu, Y. Zeng, and R. Zhang, "Cyclical multiple access in UAV-aided communications: A throughput-delay tradeoff," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 5, no. 6, pp. 600-603, 2016.
- [27] X. Qi, B. Li, Z. Chu, K. Huang, and H. Chen, "Secrecy Energy Efficiency Performance of UAV-Enabled Communication Networks," *arXiv preprint arXiv:1704.01883*, 2017.
- [28] L. Xie, J. Xu, and R. Zhang, "Throughput Maximization for UAV-Enabled Wireless Powered Communication Networks," *arXiv preprint arXiv:1801.04545*, 2018.
- [29] C. Zhan, Y. Zeng, and R. Zhang, "Energy-efficient data collection in UAV enabled wireless sensor network," *IEEE Wireless Communications Letters*, 2017.
- [30] Q. Wu and R. Zhang, "Common throughput maximization in UAV-enabled OFDMA systems with delay consideration," *available online: arxiv.org/abs/1801.00444*, 2018.
- [31] G. Zhang, Q. Wu, M. Cui, and R. Zhang, "Securing UAV communications via trajectory optimization," in *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*, 2017, pp. 1-6.
- [32] Q. Wu and R. Zhang, "Delay-constrained throughput maximization in UAV-enabled OFDM systems," in *Communications (APCC), 2017 23rd Asia-Pacific Conference on*, 2017, pp. 1-6
- [33] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex optimization*: Cambridge university press, 2004.
- [34] M. Grant and S. Boyd, "CVX: Matlab software for disciplined convex programming, version 2.1. 2014".
- [35] D. T. Ngo, S. Khakurel, and T. Le-Ngoc, "Joint subchannel assignment and power allocation for OFDMA femtocell networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, no. 1, pp. 342-355, 2014.



- [36] Z. Yang, Z. Ding, P. Fan, and N. Al-Dhahir, "A general power allocation scheme to guarantee quality of service in downlink and uplink NOMA systems," *IEEE transactions on wireless communications*, vol. 15, no. 11, pp. 7244-7257, 2016.

## فہرست اختصارات

4G	Fourth Generation
5G	Fifth Generation
ATG	Air to Ground
CH	Cluster Head
D2D	Device-2-Device
D.C.	Difference-of-Two-Concave-Function
DF	Decode and Forward
DSC	Drone Small Cell
DPBA	Dynamic Programming Based Algorithm
EE	Energy Efficiency
ERAA	Equal Resource Allocation Algorithm
HAP	High Altitude Platform
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunication Union
LoS	Line of Sight
M2M	Machine to Machine
MIMO	Multi Input Multi Output
MTD	Machine Type Device
NLoS	Non Line of Sight
NOMA	Non Orthogonal Multiple Access
NU	Normal User
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMA	Orthogonal Multiple Access
SCA	Successive Convex Approximation
SE	Spectrum Efficiency
SEE	Secure Energy Efficiency
SISO	Single Input Single Output
SU	Secure User
TDD	Time Division Duplexing
TDMA	Time Division Multiple Access

# واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

Air to Ground	هوا به زمین
Cluster Head	رهبر خوشه
Device-2-Device	دستگاه به دستگاه
Difference-of-Two-Concave-Function	تفاضل دو تابع مقعر
Decode and Forward	دیکد و ارسال
Drone Small Cell	سلول کوچک متحرک
Dynamic Programming Based Algorithm	الگوریتم مبتنی بر برنامه ریزی پویا
Energy Efficiency	کارایی انرژی
Equal Resource Allocation Algorithm	الگوریتم تخصیص مساوی منابع
Fifth Generation	نسل پنجم
Fourth Generation	نسل چهارم
High Altitude Platform	سطوح ارتفاع بالا
Internet of Things	اینترنت اشیا
International Telecommunication Union	ارتباطات دوربرد بین المللی
Line of Sight	دید مستقیم
Machine to Machine	ماشین به ماشین
Machine Type Device	دستگاه از نوع ماشین
Multi Input Multi Output	چند ورودی چند خروجی
Normal User	کاربر نرمال
Non Line of Sight	دید غیر مستقیم
Non Orthogonal Multiple Access	دسترسی چندگانه غیر متعامد
Orthogonal Frequency Division Multiple Access	دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد
Orthogonal Multiple Access	دسترسی چندگانه متعامد
Secure Energy Efficiency	کارایی انرژی امن
Secure User	کاربر امن
Single Input Single Output	تک ورودی تک خروجی
Spectrum Efficiency	کارایی طیفی
Successive Convex Approximation	تقریب متوالی محدب
Time Division Duplexing	تقسیم زمانی دوطرفه
Time Division Multiple Access	دسترسی چندگانه تقسیم زمانی

# واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

International Telecommunication Union	ارتباطات دوربرد بین المللی
Internet of Things	اینترنت اشیا
Equal Resource Allocation Algorithm	الگوریتم تخصیص مساوی منابع
Dynamic Programming Based Algorithm	الگوریتم مبتنی بر برنامه ریزی پویا
Difference-of-Two-Concave-Function	تفاضل دو تابع مقعر
Successive Convex Approximation	تقریب متوالی محدب
Time Division Duplexing	تقسیم زمانی دو طرفه
Single Input Single Output	تک ورودی تک خروجی
Multi Input Multi Output	چند ورودی چند خروجی
Machine Type Device	دستگاه از نوع ماشین
Non Line of Sight	دید غیر مستقیم
Time Division Multiple Access	دسترسی چندگانه تقسیم زمانی
Orthogonal Frequency Division Multiple Access	دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد
Orthogonal Multiple Access	دسترسی چندگانه متعامد
Device-2-Device	دستگاه به دستگاه
Non Orthogonal Multiple Access	دسترسی چندگانه غیر متعامد
Line of Sight	دید مستقیم
Decode and Forward	دیکد و ارسال
Cluster Head	رهبر خوشه
High Altitude Platform	سطوح ارتفاع بالا
Drone Small Cell	سلول کوچک متحرک
Energy Efficiency	کارایی انرژی
Secure Energy Efficiency	کارایی انرژی امن
Spectrum Efficiency	کارایی طیفی
Secure User	کاربر امن
Normal User	کاربر نرمال
Machine to Machine	ماشین به ماشین
Fifth Generation	نسل پنجم
Fourth Generation	نسل چهارم
Air to Ground	هوا به زمین

## **Abstract**

we use an UAV as a DF relay in 5<sup>th</sup> generation to convey information from transmitter to receivers. The objective of this system is maximizing transmitted information from source to two destinations. Transmitting signal is done in LoS mode and also in NLoS mod with respect to LoS and NLoS probability. The transmitter uses a battery to transmit information to relay and UAV is equipped with solar panels using which it harvests the energy to transmit information to receivers. UAV uses non orthogonal multiple access method and physical layer security technique to send information to receivers simultaneously. This thesis uses iterative algorithms based on approximation methods. Simulation of this thesis is done with CVX. Results of this thesis show that the throughput decreases as the altitude of UAV increases and the throughput increases as the amount of energy harvesting increase and the throughput decreases as the speed of UAV increases. We also show that throughput based on NOMA method is larger than throughput based on OMA method.

**Keywords** : NOMA, OMA, physical layer security, energy harvesting.



**Shahrood University of  
Technology**

Faculty of Electrical and Robotics Engineering

M.Sc. Thesis in Communication Systems Engineering

# **Resource allocation in 5<sup>th</sup> generation wireless networks with unmanned aerial vehicles**

**By: Seyyede Reyhane Shahcheragh**

**Supervisor:  
Dr. Mohammad Reza Javan**

July 2018