

## طراحی شبکه در سیستم های حمل و نقل:

### حمل و نقل کالاهای خطرناک (Hazardous Materials Transport)

دانشگاه کردستان  
دکتر قادری



### فهرست مطالب:

1. حوادث مربوط و عمق فاجعه
2. تعریف و مقدمه
3. جایگاه انتقال مواد خطرناک
4. آیین نامه حفاظتی مواد خطرناک و طبقه بندی
5. مفادی از دستور العمل حمل و نقل جاده ای مواد شیمیایی و سموم
6. اصول اساسی در حمل و نقل کالاهای خطرناک
7. انتخاب مسیر برای انتقال مواد خطرناک
8. عوامل تاثیرگذار در انتخاب شیوه و مسیر حمل و نقل مواد خطرناک
9. مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### حوادث مربوط به حمل و نقل کالای خطرناک و عمق فاجعه



**نشت نفت از نفتکش Prestige**  
میزان خسارت: ۱۲ میلیارد دلار  
نوامبر ۲۰۰۲، نفتکش پرستیژ حامل ۷۷۰۰۰ تن نفت سنگین در نزدیک سواحل اسپانیا دچار حادثه شد. کاپیتان از نیروهای ساحلی اسپانیا درخواست کمک کرد. ولی آنها نفتکش را مجبور کردند از سواحل اسپانیا دور شود. بعد از آن بود که کشتی در طوفان گرفتار شد و سوخت آن در دریا پراکنده شد. هزینه پاکسازی نفت رهاشده نزدیک به ۱۲ میلیارد دلار تخمین زده شد.



**سقوط تانکر حامل سوخت در آلمان**  
میزان خسارت: ۳۵۸ میلیون دلار  
آگوست ۲۰۰۴، تانکری حامل ۳۲۰۰۰ لیتر سوخت، از روی پلی در آلمان سقوط کرد و منفجر شد. هزینه اولیه تعمیر پل حدود ۴۰ میلیون دلار و هزینه ساخت پل جدید ۳۱۸ میلیون دلار خرج داشت.

	<p><b>انفجار گاز در خطوط لوله شرکت Alpha Oil</b>  میزان خسارت: ۳/۴ میلیارد دلار  جولای ۱۹۸۸ انفجار در لوله انتقال سوخت یکی از  بزرگ‌ترین شرکت‌های نفتی جهان رخ داد و ۱۶۷  کشته در پی داشت.</p>
	<p><b>نشت نفت از نفت کش شرکت Exxon</b>  میزان خسارت: ۲/۵ میلیارد دلار  مارس ۱۹۸۹ نشت نفت از یکی از  نفت‌کش‌های شرکت Exxon رخ داد که هزینه  پاک‌سازی نفت رها شده نزدیک به ۲/۵  میلیارد دلار برآورد شد.</p>

<p><b>حادثه کشتی هالیفاکس</b>  کشتی باری با ۲۶۰۰ تن مواد منفجره از آمریکا به مقصد اروپا در بندر هالیفاکس کانادا با کشتی دیگری برخورد  نمود و منفجر شد. شعله‌ها آتش به محوطه بندر سرایت می‌نماید و ۳۰۰۰ نفر کشته و ۹۰۰۰ نفر مجروح و  ۶۰۰۰ خانه بکلی ویران می‌شود.</p>	
	<p><b>حادثه کشتی گراندکمپ Grandcamp</b>  این کشتی حامل محموله نیترات آمونیوم بود و  در اثر انفجار ۴۶۸ نفر کشته و دو هواپیمای  بالای کشتی نیز منفجر می‌شوند.</p>
	<p><b>کشتی جالافادمو Jala fadmu</b>  با ۱۴۰۰ تن مواد منفجره در بندر بمبئی که بر روی  کشتی مقدار زیادی پنبه نیز برای مقصد کراچی حمل  می‌شد. کشتی منفجر می‌شود و در نتیجه ۱۲۵۰ نفر  کشته و ۱۵ کشتی نابود می‌شود.</p>

### برخی حوادث ۳۵ سال اخیر در حمل مواد خطرناک جاده ای

سال وقوع	مکان وقوع	شرح حادثه	نتیجه حادثه
۱۹۷۴	ژاپن	نشت کلرین در حین حمل	۵۲۱ کشته و زخمی
۱۹۷۸	اسپانیا	انفجار تانکر حاوی گاز پروپان در یک اردوگاه	۲۱۶ کشته و ۲۰۰ زخمی
۱۹۸۱	مکزیک	وقوع تصادف حین حمل کلرین	۲۸ کشته و ۱۰۰۰ مجروح
۱۹۸۳	مصر	انفجار حین حمل گاز پروپان	۲۱۷ کشته و ۴۴ مجروح
۱۹۹۰	بانکوک تایلند	انفجار تانکر حمل گاز مایع	۶۳ کشته و ۹۰ زخمی
۱۹۹۴	نیجریه	انفجار حامل سوخت	۵۰۰ کشته و زخمی
۱۹۹۷	پاکستان	تصادف کامیون حمل کلرین	۳۲ کشته و ۹۰۰ زخمی
۱۹۹۹	اتریش	برخورد تانکر حامل مواد شیمیایی به صفی از وسایل نقلیه در تونل	۱۲ کشته و ۵۰ مجروح و ۱۷ میلیون مارک خسارت بازسازی تونل

### انفجار قطار در نیشابور ۳۰۰ کشته و ۴۶۰ زخمی



در محل انفجار گودالی به عمق ۲۵ متر و شعاعی بیش از ۱۰۰ متر ایجاد شده است. قارچ انفجاری به ارتفاع حدود سیصد متر در زمان انفجار تشکیل شده است





این حادثه در شهر نیشابور شروع شده و  
واگنها پس از طی ۲۰ کیلومتر از خط جدا  
شده و در دهکده خیام متوقف میشوند.  
مامورین نجات از اطراف جهت امداد و  
مهارش می رسند که انفجار صورت  
گرفت.



۱۷ واگن حامل گوگرد، ۶ واگن حامل  
بنزین، هفت واگن حامل کود شیمیایی و  
۱۰ واگن حامل پنبه بودند. این انفجار  
معادل ۱۸۰ تن تی ان تی گزارش شد.



ساختمان های سه روستای نزدیک ایستگاه در  
اثر شدت انفجار تخریب شد. شیشه های  
روستاهای فریمان با بیش از ۵۰ کیلومتر  
شکسته شد. در مشهد با بیش از ۷۵ کیلومتر  
فاصله صدای انفجار به وضوح شنیده شد.



### حادثه غیر مترقبه آلودگی سد وحدت سنندج در اثر واژگونی تانکر حامل MTBE در تاریخ ۱۴/۱۲/۸۱ از بندر برای پالایشگاه تبریز

تانکری حاوی ۳۰۴۰۰ لیتر ماده شیمیایی MTBE در فاصله چند متری از سد قشلاق واژگون و بخش عمده ای از محموله آن وارد سد و خاک محل می شود. به دلیل عدم آموزش مناسب، نیروهای آتش نشانی پس از حضور در محل باقیمانده مواد داخل تانکر را شسته و به داخل رودخانه هدایت می کنند. در پی این حادثه آب شرب منطقه تا ماهها قطع و هزینه زیادی بر کشور تحمیل نمود



### مواد خطرناک (HazMat)

به محموله هائی گفته می شود که از لحاظ خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، ترانزیت، اثرات محیطی و مواردی از این دست قابلیت ایجاد خطر را دارا باشد.



## مواد خطرناک و حمل و نقل آنها

- یک لیتر نشت بنزین موجب آلودگی ۱۰۰ هزار لیتر آب آشامیدنی می‌گردد.
- مواد خطرناک نظیر مواد منفجره، اشتعال پذیر، سمی و اکسیدکننده کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف نظیر صنایع، معادن، کشاورزی و پزشکی پیدا کرده‌اند.
- در اکثر موارد، محل تولید و مصرف مواد خطرناک یکی نیست و باید این مواد را از محل تولید به محل مصرف منتقل کرد.
- تحلیل ریسک، مکانیابی تسهیلات و مسیریابی و زمانبندی از جمله مسایل مهم در حمل و نقل مواد خطرناک است. در مسأله مسیریابی، از یک طرف باید حمل و نقل مواد خطرناک فعالیتی اقتصادی باشد تا امکان جلب سرمایه‌گذاری در آن وجود داشته باشد و از طرف دیگر باید با حداقل کردن ریسک فرایند حمل و نقل محموله‌های خطرناک، معیارهای ایمنی لحاظ شوند.
- تقریباً از سال ۱۹۸۰، حمل و نقل مواد خطرناک مورد توجه محققین قرار گرفت.
- یکی از پر سودترین کالاها برای حمل و نقل، کالاهای خطرناک است چرا که با توجه به میزان خطرناکی آن، هزینه حمل آن نیز افزایش می‌یابد.

## جایگاه انتقال مواد خطرناک

- انتقال مواد خطرناک مانند مواد سمی، تجهیزات نظامی و مواد سوختی هم از جنبه مقدار انتقالی و هم از جنبه ریسک از اهمیت زیادی در صنعت حمل و نقل برخوردار است.
- اهمیت مسأله انتقال مواد خطرناک به حدی است که در آمریکا یک خبرنگار الکترونیکی آخرین وقایع مهم حقوقی و زیست محیطی از جمله قوانین و مقررات جاده‌ای درمورد انتقال مواد خطرناک را به صورت لحظه‌ای منتشر می‌کند.
- براساس قوانین آمریکا دریافت گواهینامه از دوره آموزش نود روزه مواد خطرناک برای همه پرسنل مرتبط ضروری است. دوره‌های بازآموزی هر سه سال یکبار برگزار می‌شود. به تنهایی در کالیفرنیا ۲۷ مدرسه در این زمینه فعالیت دارند.
- در آمریکای شمالی یک پنجم تانکرها، انتقال دهنده مواد خطرناک هستند. سیزده شرکت حمل و نقل مواد خطرناک در ایالات متحده در ۱۹۹۸، ۴۳۲ تصادف وخیم ثبت شده داشته‌اند.



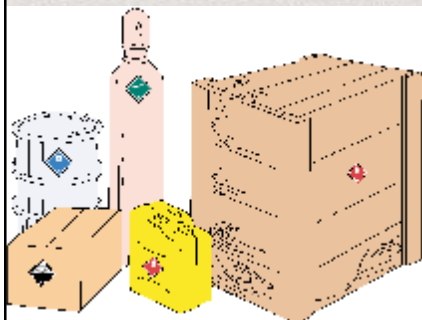
از جمله مهمترین مراکز آموزشی در زمینه حمل و نقل مواد خطرناک، مرکز آموزشهای اقدامات اضطراری ERTC می باشد که این مرکز یکی از زیر مجموعه های مرکز فن آوری حمل و نقل آمریکا TTC می باشد که در سال ۱۹۸۵ تاسیس گردیده است. دوره های این مرکز شامل ۶۰ درصد آموزشهای عملی و ۴۰ درصد آموزشهای تئوری می باشد. این مرکز تاکنون با برگزاری این دوره های آموزشی ۲۰ هزار دانشجو از کشورهای مختلفی چون آمریکا، کانادا، برزیل، مکزیک، آلمان، فرانسه، مالزی، انگلستان و ... را تحت آموزش قرار داده است و افرادی که موفق به گذراندن این دوره ها شوند گواهی نامه دریافت می نمایند.



### آیین نامه حفاظتی مواد خطرناک و مواد قابل اشتعال

در راستای ارتقاء ایمنی حمل کالاهای خطرناک و استاندارد سازی کلیه موارد مربوطه در سال ۱۹۵۵ از سوی شورای اجتماعی و اقتصادی سازمان ملل یک کمیته تخصصی تشکیل گردید، اولین نتایج فعالیتهای این کمیته در سال ۱۹۵۶ با عنوان توصیه های سازمان ملل U/V یا کتاب نارنجی منتشر شد، آوریل ۱۹۵۷ اصلاح و به روز گردید. ۱۹۹۶ اولین نسخه از مقررات حمل و نقل کالاهای خطرناک تصویب و ارائه گردید. در حال حاضر کمیته با ساختار جدید و با نام « کمیته متخصصین حمل و نقل کالاهای خطرناک و سیستم هماهنگ سازی جهانی طبقه بندی و برچسب زنی مواد شیمیایی، فعالیت می کند. این کمیته به دو کمیته فرعی تقسیم شده است:

- کمیته فرعی تخصصی در زمینه حمل و نقل کالاهای خطرناک
- کمیته فرعی تخصصی در زمینه هماهنگ سازی طبقه بندی و برچسب زنی مواد شیمیایی در سطح جهان





**کالاها و محصولات خطرناک موضوع آیین نامه در ۹ طبقه دسته بندی گردیده اند , این طبقه بندی به شرح ذیل می باشد:**

**Class 1 - Explosives**




گروه ۱: مواد منفجره (Explosives)

**Class 2 - Gases**




گروه ۲: گازها (Gases) گازهای قابل اشتعال، غیر قابل اشتعال و گازهای سمی

**Class 3 - Flammable Liquids**



گروه ۳: مایعات قابل اشتعال (Flammable liquids)

**Class 4 - Flammable Solids, Substances liable to spontaneous combustion; Substances that on contact with water emit flammable gases (water-reactive substances)**



گروه ۴: جامدات (Solids) قابل اشتعال، خودسوز و مواد جامدی که در صورت رسیدن رطوبت خطرناک هستند.

**Class 5 - Oxidizing Substances and Organic Peroxides**



گروه ۵: موادی که در معرض اکسیداسیون قرار دارند

**Class 6 - Toxic Substances and Infectious Substances**



گروه ۶: موادمسمی (Toxic substances) مواد سمی و عفونی

**Class 7 - Radioactive Materials**



گروه ۷: مواد رادیواکتیو

**Class 8 - Corrosives**



گروه ۸: کالای خورنده (Corrosives)

**Class 9 - Miscellaneous Products, Substances or Organisms**



گروه ۹: دیگر کالاهای خطرناک و سایر مواردی که تحت پوشش گروههای دیگر نیستند.

## مفادی از دستور العمل حمل و نقل جاده ای مواد شیمیایی و سموم



مقررات مربوط به عملیات بارگیری، حمل و نقل و باراندازی مواد شیمیایی و سموم

ماده ۱۱: وسیله نقلیه حامل مواد صرف نظر از وزن و حجم محموله فقط در ساعات روز مجاز به تردد در جاده های کشور خواهد بود و بایستی قبل از پایان روز در محل آخرین پاسگاه انتظامی توقف و تا آغاز روز بعد از حرکت خودداری نماید.

ماده ۱۲: حداکثر سرعت حرکت وسیله نقلیه حامل مواد شیمیایی و سموم در آزادراهها و شاهراهها ۶۰ کیلومتر در جاده های چهار خطه ۵۰ کیلومتر و در جاده های دو خطه حداکثر ۴۰ کیلومتر در ساعات می باشد.

ماده ۱۴: وسایل نقلیه حامل مواد شیمیایی و سموم جهت سوختگیری بایستی سوختگیری بایستی از پمپ های بنزین واقع در خارج از آبادیها و محدوده شهر ها استفاده کنند.

ماده ۱۶: حمل مواد شیمیایی و سموم در بارگیر و یدک مستقل ممنوع است و وسیله نقلیه حامل کالای خطرناک نباید تحت هیچ شرایطی توسط وسیله نقلیه دیگری یدک کشیده شود و نیز نباید تحت هیچ شرایطی وسیله نقلیه دیگری را یدک کشید.

ماده ۱۷: تردد وسیله نقلیه حامل مواد شیمیایی و سموم در شرایط غیر عادی جاده، نظیر بارندگی شدید، هوای مه آلود و یا هر گونه عامل جوی و غیر جوی نا مساعد که احتمال بروز حوادث رانندگی را افزایش می دهند ممنوع است.

ماده ۲۱: چنانچه به هر دلیل در حین عملیات بار اندازی یا بارگیری بناچار بایستی در محوطه ای تعدادی وسایل نقلیه حامل مواد شیمیایی و سموم متوقف شوند یا در توقفگاه مناسبی تعدادی خودرو حامل اینگونه کالاها متوقف گردیده اند بایستی حداقل از یکدیگر ۲۰ متر فاصله داشته باشند.

ماده ۳۵: چنانچه وسیله نقلیه حامل مواد شیمیایی و سموم از طبقه ۱، در محل پاسگاههای انتظامی یا مراکز ذیصلاح جهت کنترل اسناد و مدارک حمل و نقل و یا بازدید از محموله متوقف شود، راننده وسیله نقلیه مکلف به توقف خودرو در ۵۰ متری پست مذکور است.



ماده ۳۶: چنانچه کاروانی از وسایل نقلیه حامل مواد شیمیایی و سموم بدنال یکدیگر در تردد باشند، بایستی حداقل ۸۰ متر از یکدیگر فاصله داشته و اسکورت شوند.

ماده ۴۴: اطلاعات ذیل بایستی بصورتی خوانا بر روی بدنه وسایل نقلیه تانکر دار که مواد خطرناک را حمل می نماید درج گردیده باشد:

- ۱- مشخصات موسسه حمل و نقل
- ۲- ظرفیت تانکر
- ۳- وزن خالی تانکر
- ۴- حد اکثر وزن تانکر به همراه محموله
- ۵- نام محموله
- ۶- تاریخ و مدت اعتبار بازرسی

ماده ۴۵: اطلاعات ذیل نیز بایستی به صورتی خوانا بر روی بدنه تانک کانتینر حامل مواد خطرناک درج گردیده باشد.

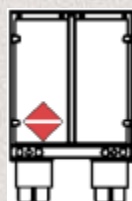
- ۱- شماره ثبت تانک کانتینر
- ۲- نام شرکت تولید کننده تانک کانتینر
- ۳- شماره سریال اعلام شده توسط شرکت تولید کننده تانک کانتینر
- ۴- مقدار عددی فشار محموله بر حسب مگا پاسکال یا بار
- ۵- سال تولید تانک کانتینر
- ۶- ظرفیت تانک کانتینر بر حسب لیتر

ماده ۴۷: حد اکثر عمر تانکرهایی که به صورت بارگیر جهت حمل مواد شیمیایی و سموم به کار می روند نبایستی از هشت سال تجاوز کند.

ماده ۴۸: حد اکثر عمر تانکرهایی که محمولاتی از طبقه ۲-۵ و ۸ را حمل می کنند از تاریخ تولید ۴ سال خواهد بود. این تانکر ها باید از ورق به پوشش گالوانیزه ساخته شده باشند.

تبصره: موسسات حمل و نقل مکلفند در دوره های مسافتی ۲۵۰۰ کیلو متری تانکر را مورد بازرسی دقیق قرار داده و از صحت استحکام اتصالات و عدم نشن محموله یقین حاصل کنند.

#### محل نصب علائم حمل کالای خطرناک



Elevated Temperature Sign

Small Means of Containment

## سه اصل اساسی در حمل و نقل کالاهای خطرناک

### خصوصیات مسیر

در حمل و نقل این مواد استفاده از مسیری مناسب از نظر طرح هندسی، نوع روسازی، ایمنی مسیر، وجود شانه مناسب راه، امکانات دسترسی و امداد رسانی در طول مسیر در حد زیادی در بالا بردن ایمنی حمل و نقل موثر خواهد بود و به عنوان فاکتوری مهم در انتخاب یک مسیر تأثیر گذار می باشد.

### خصوصیات ترافیکی

انتخاب مسیرهای پر تراکم و شلوغ سبب افزایش سطح و شدت تصادفات خواهد شد. این مساله به دلیل عواقب سوء آن از اهمیت بالاتری برخوردار است.

### نوع وسیله نقلیه

در حمل و نقل مواد خطرناک عمدتاً از وسایل نقلیه سنگین یا نیمه سنگین (کامیون ها، تانکرها) استفاده می شود. این وسایل احتمال وقوع تصادف را بالا برده و در صورت بروز حادثه معمولاً خسارات سنگین تری را به دنبال دارند.

**Ref [11]** Erkut, E. and Verter, V. (1998) "Modeling of transport risk for hazardous materials", Operations Research, 46(5), 625-642.

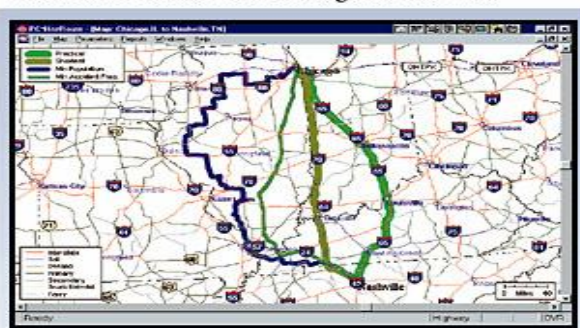
## انتخاب مسیر برای انتقال مواد خطرناک

در انتقال یک کالای خطرناک بین دو شهر آمریکا نتایج نرم افزار (PC\*HazRoute) نشان می دهد که مسیر ۱ پنج برابر تصادف خیزتر از مسیر ۲ است، در حالی که ریسک مسیر ۲ برای انسانها دو برابر مسیر ۱ است. همچنین مسیر ۲ بیست درصد طولانی تر از مسیر ۳ است، در عوض احتمال بروز تصادف در مسیر ۳ تقریباً پنجاه درصد بیشتر از احتمال مشابه در مسیر ۲ است. مسیر ۱ دو برابر طولانی تر از مسیر ۳ است با این حال در مقایسه با مسیر ۳، چهل درصد ریسک کمتری متوجه زندگی انسانها می نماید.



(عملی ترین مسیر با ملاحظه همزمان طول سفر و زمان سفر به دست می آید. این مسیر اغلب برای تانکرهایی که مواد خطرناک منتقل نمی نمایند استفاده میشود.)

Alternative routes from Chicago to Nashville



Source: PC\*HazRoute (1994), ALK Associates, Princeton, N.J.

FIGURE 1

چهار مسیر بر اساس چهار ریسک مختلف

در انتقال مواد خطرناک، یک نکته کلیدی این است که منابع خطرناک بایستی از محل زندگی انسان دور باشد.

بایستی راهکاری ارائه نمود که برای هر یک از خطوط شبکه حمل و نقل (خطوط ریلی، جاده ها، خیابانها، ...) میزان ریسک عبور هر یک از مواد خطرناک را تعیین نمود. هدف یافتن مسیرهایی بین زوج نقاط مبدا-مقصد است که علاوه بر کوتاه بودن، کمینه ریسک باشند.

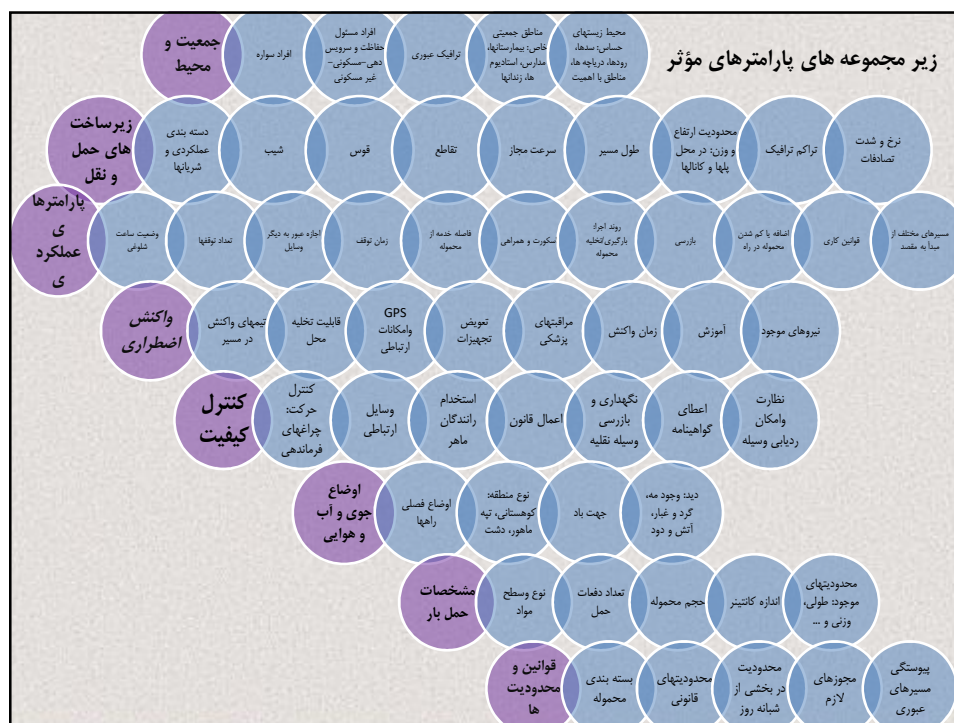
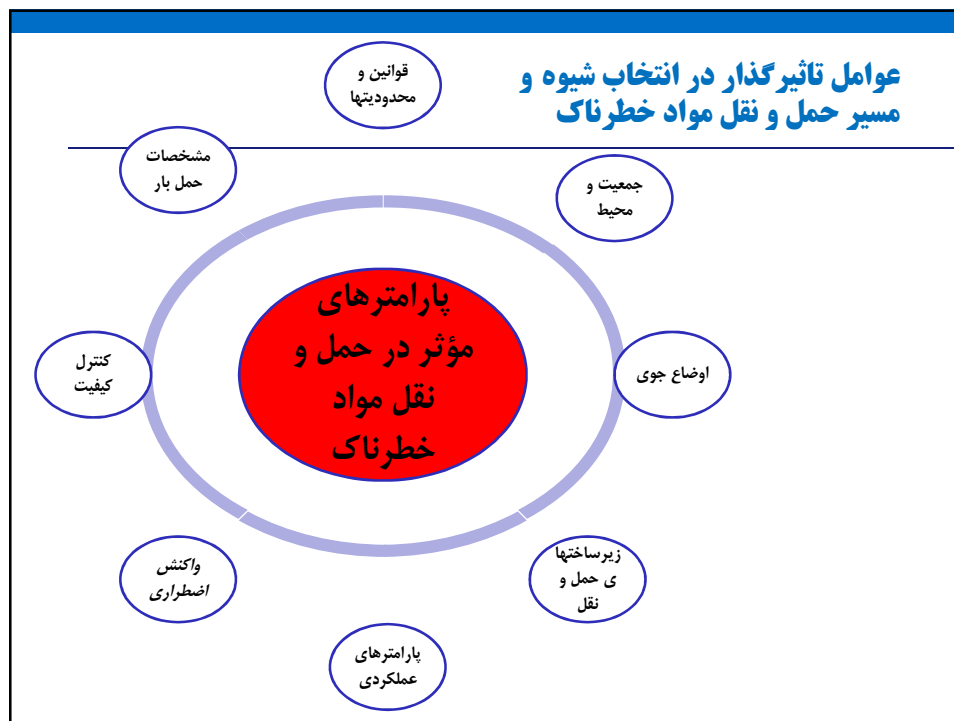


در این صورت بایستی بتوان با ارائه یک مدل، میزان ریسک را از میان این عوامل تعیین نمود.

مراحل زنجیروار توزیع مواد خطرناک که در واقع تمامی فاکتورهای تاثیرگذار بر انتخاب شیوه و مسیر حمل مواد خطرناک در این سه مرحله نمایان می شود.







### مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک: کلیات

- For hazmat shipments, a cost minimizing objective is usually not suitable.
- The risk associated with hazmats makes these problems more complicated (and more interesting) than many other transport problems.
- Most people would agree that risk has to do with the **probability** and the **consequence** of an **undesirable event**.
- Although some authors define risk as only one of these terms (i.e., probability or consequence), it is more common to define risk as the product of both the probability of and the consequence of the undesirable event.
- Note that this is an "expected consequence" definition, and it is the definition that we refer to as "traditional risk".
- It is common to assume that the **undesirable consequence** is proportional to the **size of the population** in the neighborhood of the incident, where the size of the neighborhood depends on the **substance carried**.  
 ▪ لازم ذکر است پیامدهای نامطلوب تصادف فقط به کشته شدگان آن ختم نشده و آثار زیانبار دیگری نظیر صدمه به محیط زیستی و جانوری و غیره را به همراه دارد.
- Furthermore, the **probability** of an incident occurring depends on the **substance carried** and **the road type**.

### مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک تشکیل از ۳ بخش زیر است:

- Unit Road Segment Risk
- Edge Risk
- Path Risk

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Unit Road Segment Risk

- Using the traditional risk definition, the risk of transporting hazmat B over a unit road segment A (such as a one mile stretch) can be written as:

$$R_{AB} = P_{AB} C_{AB}$$

where

- $P_{AB}$  = probability of an incident on the unit road segment A for hazmat B,

(For most hazmats, estimates of incident probabilities are between 0.1 and 0.8 per million miles. )

- $C_{AB}$  = population along the unit road segment A within the neighborhood associated with hazmat B

(The impact area can be represented as a circle and the radius of the circle can be anywhere from 0 to 7 miles. )

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Unit Road Segment Risk

#### danger-circle approximation

#### تقریب دایره خطر

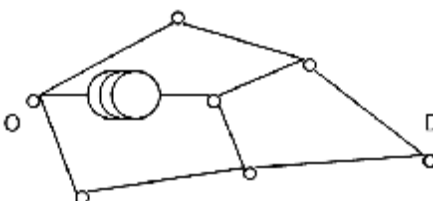


Figure 1. Depiction of hazmat transport between an origin (O) and a destination (D) as the movement of a danger circle on a network.

- برآورد دقیق تعداد افراد متأثر در اثر وقوع تصادف نیازمند اطلاعات بسیار زیاد: شرایط هواشناسی، اثرات مواد شیمیایی بر روی انسانها، جهت باد و ... می باشد که دسترسی به همه آنها ممکن نیست.
- لذا از «دایره خطر» به عنوان سناریوی بدترین حالت ممکن استفاده خواهد شد. به علاوه فرض خواهد شد افرادی که داخل این دایره ساکن هستند صرف نظر از فاصله آنها تا نقطه تصادف، وضعیت هواشناسی و ... متحمل پیامد یکسانی (مرگ در بدترین حالت) خواهند شد.
- یکی دیگر از مشکلات عدم دسترسی به اطلاعات دقیق جمعیتی درون دایره خطرناک به علت متغیر بودن جمعیت در طی شبانه روز



## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Edge Risk

#### شبکه مسیریابی مواد خطرناک: Hazmat routing network

- In the context of hazmat routing it is desirable for **an edge** to be **relatively uniform** in its two important attributes:
  - incident probability
  - population density around the road
- For example, a long stretch of a highway that goes through a series of population centers and farmland should not be represented as a single edge, but as a series of edges.
- Thus, a network to be used for hazmat routing is usually different from a network to be used for other transport planning purposes.

35

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Edge Risk

- Due to the construction of the network, it is safe to assume that an edge is a collection of  $n$  unit road segments (e.g., miles) each with the same incident probability  $p$  and population in (the danger circle)  $C$ .
- The vehicle will either have an incident in the first mile, or it will make it safely to the second mile. If it makes it safely to the second mile, it will either have an incident in the second mile, or it will not, and so on. We assume that the trip ends if an incident occurs.

- The tree in Figure 2 displays all possible outcomes of a trip along this edge.

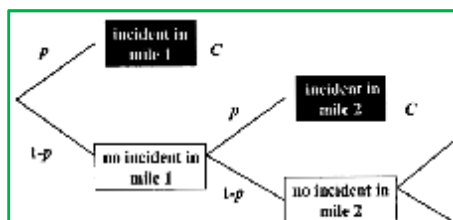


Figure 2. Partial probability tree displaying possible outcomes of a hazmat transport along an edge, where  $p$  = incident probability per mile and  $C$  = population impacted in the case of an incident.

36

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Edge Risk

- The expected consequence (risk) associated with this edge would be expressed as follows:



$$pC + (1-p)pC + (1-p)^2pC + \dots + (1-p)^{n-1}pC$$

- با توجه به مقادیر معلوم  $p$ ,  $n$  و  $C$  مقدار ریسک هر یال به راحتی قابل محاسبه است و به عنوان یک مشخصه در مسئله انتخاب مسیر میتواند مورد استفاده قرار گیرد.

- به علاوه از آنجاکه احتمال وقوع تصادف مقدار بسیار ناچیز (مثلاً یک در هر میلیون مایل) می باشد لذا می توان نوشت:

$$p^s \approx 0, \quad \text{for } s > 1$$

- با توجه به آن، ریسک مرتبط با سفر بر روی این یال برابر خواهد بود با:

$$(pn)C$$

37

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Edge Risk

- بنابراین ریسک یال  $i$  به صورت زیر قابل محاسبه است:

Defining

$p_i$  = probability of an incident on edge  $i$  = (prob. of an incident on a unit segment of edge  $i$ )(no. of unit segments in edge  $i$ ), and

$C_i$  = the number of people within the danger circle along edge  $i$ , we can express the risk of one trip along edge  $i$  as

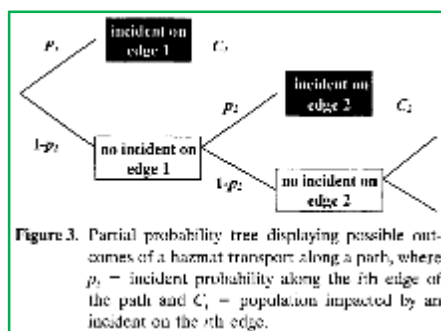
$$R_i = p_i C_i. \quad (5)$$

38

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Path Risk

- با توجه به ریسک مرتبط با بخش واحد راه و یال، چگونه می توان ریسک کل مسیر را از مبدا به مقصد محاسبه نمود؟ یک مسیر توالی از یال ها است که در شکل زیر نیز قابل مشاهده است.



- The expected consequence (risk) associated with this trip would be expressed as follows:

$$p_1 C_1 + (1 - p_1)p_2 C_2 + (1 - p_1)(1 - p_2)p_3 C_3 + \dots$$

39

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Path Risk

- مثال: مسئله بسیار کوچک انتخاب مسیر با 4 یال را به صورت زیر در نظر بگیرید.

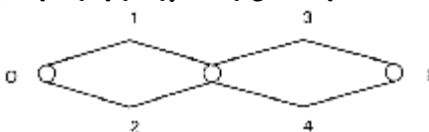


Figure 4. Example demonstrating path dependency of edge attributes in hazmat transport problems.

$$\begin{aligned} \min & (p_1 C_1)x_1 + (p_2 C_2)x_2 \\ & + [(1 - p_1)x_1 + (1 - p_2)x_2](p_3 C_3)x_3 \\ & + [(1 - p_1)x_1 + (1 - p_2)x_2](p_4 C_4)x_4, \end{aligned}$$

$$\text{subject to } x_1 + x_2 = 1,$$

$$x_1 + x_2 = x_3 + x_4,$$

$$x_3 + x_4 = 1,$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \text{for } j = 1, \dots, 4.$$

- متغیر تصمیم  $X_j = 1$  است اگر یال  $j$  در مسیر باشد در غیر اینصورت صفر است.
- مسئله انتخاب مسیر با تابع هدف کمینه نمودن ریسک به صورت زیر است.

40

## مدل سازی ریسک حمل و نقل مواد خطرناک

### Path Risk

- Note that the objective function contains products of the decision variables. This is necessary since the incident probabilities (and hence the risks) of edges 3 and 4 depend on whether the vehicle takes edge 1 or edge 2 in the first part of the trip.

تبدیل مدل غیرخطی به خطی باعث افزایش تعداد متغیرها و بعد مسئله خواهد شد.

مشابه حالت قبل می توان از تقریب زیر جهت کاهش پیچیدگی مسئله استفاده نمود:

$$p_i p_j \approx 0, \text{ for all } i, j$$

لذا تابع هدف مسئله به صورت زیر خلاصه خواهد شد:

$$\min \sum_{j=1}^4 (p_j C_j) x_j$$

بنابراین مسئله کمینه سازی ریسک به صورت تقریبی با استفاده از الگوریتم کوتاه ترین مسیر حل می شود.

در واقع احتمال وقوع تصادف در یال (۱) و (۲) نادیده گرفته می شود.

تمرین: فرم کلی مسئله را برای حالتی که  $K$  کالا در طول شبکه از مبادی مختلف به مقاصد مختلف جابه جا می شوند با استفاده از مدل کوتاه ترین مسیر بدست بیاورید؟

41