AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN DÖVLƏT İQTİSAD UNİVERSİTETİ
BEYNƏLXALQ MAGİSTRATURA VƏ DOKTORANTURA MƏRKƏZİ

“OPTİMALLAŞDIRMA VƏ STATİSTİK METODLARLA NƏQLİYYATDA DAŞIMALARIN SƏMƏRƏLİLİYİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ”

mövzusunda

MAGİSTR DİSSERTASİYASI

Qaraşov Murad Gürşat oğlu

BAKI – 2021

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ

AZƏRBAYCAN DÖVLƏT İQTİSAD UNİVERSİTETİ

BEYNƏLXALQ MAGİSTRATURA VƏ DOKTORANTURA MƏRKƏZİ

BMDM-in direktoru

i.ü.f.d., dos. Əhmədov Fariz Saleh oğlu

__________________________ imza

“____” _______________ 20__-ci il

“OPTİMALLAŞDIRMA VƏ STATİSTİK METODLARLA NƏQLİYYATDA DAŞIMALARIN SƏMƏRƏLİLİYİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ”

mövzusunda

MAGİSTR DİSSERTASİYASI

İxtisasın şifri və adı: 060406 Statistika

İxtisaslaşma: Müəsisələrin statistikası

Qrup: 704

Magistrant:
Qaraşov Murad Gürşat oğlu
______________________ imza

Elmi rəhbər:
i.e.d., prof. Həsənli Yadulla Həmdulla oğlu
____________________imza

Proqram rəhbəri:
i.ü.f.d., dos. Hümbətova Suqra İnqilab qızı
_________________________ imza

Kafedra müdiri:
i.e.d., prof. Kəlbiyev Yaşar Atakişi oğlu
_____________________imza

BAKI – 2021

Elm andı

Mən Qaraşov Murad Gürşat oğlu and içirəm ki, “Optimallaşdırma və statistik metodlarla nəqliyyatda daşımaların səmərəliliyinin yüksəldilməsi” mövzusunda magistr dissertasiyasını elmi əxlaq normalarına və istinad qaydalarına tam riayət etməklə və istifadə etdiyim bütün mənbələri ədəbiyyat siyahısında əks etdirməklə yazmışam.

OPTİMALLAŞDIRMA VƏ STATİSTİK METODLARLA NƏQLİYYATDA DAŞIMALARIN SƏMƏRƏLİLİYİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ

XÜLASƏ

Tədqiqatın aktuallığı: Nəqliyyatda səmərəliliyin artırılması həm yerli müstəvidə, həm də beynəlxalq müstəvidə logistika və təchizat zəncirinin idarə olunması ilə məşğul olan özəl və dövlət qurumlarının əsas problemlərindən biridir. Nəqliyyatın optimallaşdırılması bu gün daha tez xidmət almağa, enerjiyə qənaət etməyə, yol infrastrukturunun az yüklənməsinə, ətraf mühitə atılmış tullantıların azaldılmasına gətirib çıxardır.

Tədqiqatın məqsədi: Dissertasiya işinin əsas məqsədi optimallaşdırma və statistik metodların köməyi ilə nəqliyyat problemlərinin həlli, nəqliyyatda gecikmələrin azaldılması və nəqliyyat daşımalarının qabaqcadan proqnozunu təmin etməkdir. Mövzudan alınacaq nəticələr real biznes problemlərində tətbiq ediləcəkdir.

İstifadə olunmuş tədqiqat metodları: Tədqiqat zamanı analiz, sintez, təhlil metodlarından istifadə olunmuşdur. Tədqiqat zamanı Python proqramlaşdırma dilinin imkanlarından, IBM SPSS, Solver, Power BI(vizual qrafiklərin qurulması üçün) proqramlarından istifadə olunmuşdur.

Tədqiqatın informasiya bazası: Tədqiqat işində real biznes məlumatları ilə yanaşı, istər beynəlxalq daşımalar, istərsə də yerli səviyyədə açıq məlumat mənbələrindən də istifadə edilmişdir.

Tədqiqatın məhdudiyyətləri: Tədqiqat prosesində nəqliyyatla bağlı son bir neçə ilin statistik nəticələrinə əlçatanlığın zəif olması və qlobal miqyasda pandemiyanın yayılması, eləcə də tədqiqat zamanı müharibə və digər səbəblərdən ölkədə internetə çıxışın dayandırılması müəyyən çətinliklər yaratmışdır. O cümlədən yerli mənbələrin azlığı həmçinin kitabaxanaların müəyyən müddət bağlı qalması tədqiqat prosesini bir qədər ləngitmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi və praktiki nəticələri: Özəl bir logistika şirkəti üçün bazar makroiqtisadi mühiti və nəqliyyat sənayesi mühitini, həmçinin öz bazar əməliyyat strategiyalarını (xidmət səviyyəsi, qiymət strategiyası və s.) önəm daşıyır.

Nəticələrin istifadə oluna biləcəyi sahələr: Tədqiqat işində təhlil edilən nəzəri metodik müddəalar və təhlillər ölkə ərazisində nəqliyyat planlaşdırma işlərində, eləcə də proqnozlaşdırma yönümündə geniş istifadə etmək olar.

Açar sözlər: Nəqliyyat Optimallaşdırması, Zaman sıraları, Tacir məsələsi, Proqnozlaşdırma, Xətti Proqramlaşdırma

INCREASING EFFICIENCY IN TRANSPORTATION BY OPTIMIZATION AND STATISTICAL METHODS

SUMMARY

Relevance of the study: Improving transport efficiency is one of the main problems of private and public organizations involved in the management of logistics and supply chains, both locally and internationally. Optimization of transport today leads to faster service, energy saving, less congestion of road infrastructure, reduction of emissions into the environment.

The purpose of the research: The main purpose of the dissertation is to solve transport problems through optimization and statistical methods, reduce transport delays and provide advance forecasting of transport. The results will be applied to real business problems.

Research methods used: Analysis, synthesis, analysis methods were used during the research. The research used the capabilities of the Python programming language, IBM SPSS, Solver, Power BI (for building visual graphics).

Research database: In addition to real business data, the study used open sources of information, both international and local.

Limitations of the study: The lack of access to transport statistics over the past few years and the spread of the global pandemic, as well as the disruption of Internet access in the country due to war and other reasons, have created some difficulties in the study. In addition, the lack of local resources and the closure of libraries for some time have slowed down the research process.

Scientific novelty and practical results of the research: For a private logistics company, the market macroeconomic environment and the environment of the transport industry, as well as its own market operating strategies (service level, pricing strategy, etc.) are important.

Areas where the results can be used: Theoretical and methodological provisions and analysis analyzed in the research can be widely used in transport planning in the country, as well as in forecasting.

Keywords: Transport Optimization, Time Series, Travelling Salesman problem, Forecasting, Linear Programming

İXTİSARLAR VƏ İŞARƏLƏR

ARDSK	Azərbaycan Respublikası Dövlət Statistika Komitəsi
NPP	Nəqliyyat Planlaşdırma Problemi
TM	Tacir Məsələsi
ÇTM	Çox Səyahətli Tacir Məsələsi
QEÇP	Qəbul Etmə və Çatdırma problemi
XP	Xətti Proqramlaşdırma

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı: Nəqliyyatda səmərəliliyin artırılması istər lokal səviyyədə istərsə də beynəlxalq müstəvidə logistika və təchizat zəncirinin idarə olunması ilə məşğul olan özəl və dövlət qurumlarının əsas problemlərindən biridir. Nəqliyyatın optimallaşdırılması bu gün daha tez xidmət almağa, enerjiyə qənaət etməyə, yol infrastrukturunun az yüklənməsinə, ətraf mühitə atılmış tullantıların müəyyən qədər azaldılmasına və ən nəhayət istər dövlət istərsə də özəl qurumlar səviyyəsində xərclərin aşağa düşməsinə gətirib çıxardır. Yerli qurumların təchizat zəncirlərinin idarə edilməsində nəqliyyatın optimallaşıdırma prinsiplərinin kifayət qədər səmərəliliyi artırmaq gücünün olmasına baxmayaraq az tətbiq edilməsi eləcədə bu istiqamətdə araşdırmaların kifayət qədər az olması mövzunun əhəmiyyətini ölkəmiz üçün ikiqat artırır. Tədiqatdan alınacaq nəticələr təkcə yükdaşımalarda deyil eləcə də, hava nəqliyyatında, sərnişin daşımalarda Nəqliyyat Planlaşdırma Problemində (VRP-Vehicle Routing Problem) tətbiq edilə bilər. Son dövrlərdə texnologiyada baş verən dəyişikliklər və yeni metodologiyaların hazırlanması optimallaşdırma, Data Analitikası, Böyük Həcimli verilənlər, Süni intelekt kimi mövzular nəqliyyat məsələlərindən də yan keçməmişdir. Statistik metodlar və optimallaşdırmanın nəqliyyat problemlərinin tədqiqində tətbiqi özünün müsbət nəticələrini son dövrlərdə daha da məhsuldar şəkildə büruzə verməkdədir. Bu tətbiqlər sayəsində müxtəlif nöqtələrin yükdaşımada, sərnişin daşımada gündəlik tələbləri rahatlıqla müəyyən edilə, ən uyğun və ucuz marşrutlar tətbiq edilərək vəsaitə qənaət olunur. Qeyd edilən mövzu həm də yol infrastrukturunun xəritəsinin müəyyən olunmasında optimal həllər vəd edir.

Problemin qoyuluşu və öyrənilmə səviyyəsi: Ölkə xaricində bu istiqamətdə aparılmış əsas araşdırmalar kifayət qədər geniş şəkil almışdır. Belə ki aparılmış tədqiqatlar Tacir Məsələsindən (travelling salesman) başlamış Süni intelektin və Böyük həcimli verilənlərin (Big Data) nəqliyyatda tətbiqlərinə qədər irəliləyir. Nəqliyyat məsələsinin həllində istifadə olunan metodlar bir neçə qrupa bölünür:

- Tacir Məsələsi (TSP)

- Təhvil alma və təslim etmə halında Nəqliyyat vasitəsinin marşrutunun müəyyənləşdirilməsi(Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery)
- Vaxt məhdudiyyətli NPP(VRP with Time Windows - VRPTW)
- Yük götürmə məhdudiyyətli NPP (Capacitated VRP – CVRP)
- Çoxsaylı səfər halında NPP (VRP with Multiple Trip)
- Açıq NPP (Open VRP)
- Real vaxt əsaslı NPP (Real Time VRP) və s.

Tədqiqat işlərini arasında Masaçuses Texnologiya İnstitunun(MIT) professorlarının araşdırmaları bu sahədə bir xeyli töhfələr vermişdir. MIT professorlarından Dimitris Bertismas, Patrick Jaillet optimallaşdırma, Dinamik optimallaşdırma, Velosiped bölüşdürülməsi, Stoxastik Nəqliyyat marşrutlaşdırma problemi mövzularında bir xeyli tədqiqat işləri təqdim etmişlər

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: Dissertasiya işinin əsas məqsədi optimallaşdırma və statistik metodların köməyi ilə nəqliyyat problemlərinin həlli və nəqliyyatda gecikmələrin azaldılmasını təmin etməkdir. Mövzudan alınacaq nəticələr real biznes problemlərində tətbiq ediləcəkdir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti: Tədqiqat işininin obyekt və predmetini Nəqliyyat və nəqliyyatda yaranmış problemlərin həll olunması üsulları təşkil edir. Tədqiqatın predmeti özəl və dövlət səviyyəsində nəqliyyat daşınmalarının statistik göstəriciləri, obyekti isə bu göstəricilərin təhlili və analizi vasitəsi ilə səmərəliliyin artırılmasıdır.

Tədqiqat metodları: Dissertasiya tədqiqi prosesi müxtəlif məlumat mənbələrindən nəzəri və praktiki materialın sintezinə, statistik tədqiqat və məcmular, müqayisəli təhlil metodlarına, təsvir metoduna, həmçinin, materialın tədqiqinə formal məntiqi yanaşmaya əsaslanır. Dissertasiya işinin hazırlanmasında Dövlət Statistika Komitəsinin və Dünya Bankının hesabatlarından, həmçinin real biznes datalarından geniş şəkildə istifadə olunacaq. Tədqiqatın əsas metodoliyalarının əsasını Nəqliyyatın idarə olunması üzrə ixtisaslaşmış Beynəlxalq İnstitutların təklif etiyi həll yolları, Dövlət Statistika komitəsinin dərc etdiyi statistik nəşrlər, Nəqliyyat nazirliyinin illik hesabatlari və.s. təşkil edir. Tədqiqat işində riyazıi modellərdən, iqtisadi–statistik, statistik qruplaşdırma metodlarindan da istifadə olunmuşdir.

Tədqiqatın informasiya bazası: Tədqiqat işində real biznes məlumatlarından istifadə edilməklə yanaşı, istər beynəlxalq daşımalar istərsə də yerli səviyyədə ictimatə açıq digər məlumatlardan da istifadə edilmişdir. Real biznes dataları Yükdaşıma və Logistika şirkətinin nümunəsi əsasında toplanmışdır. Nəqliyyat Rabitə və yüksək Texnologiyalar Nazirliyi illik hesabatları, ARDSK –nin Nəqliyyat daşınmalarınn həcmi, istiqaməti haqqında statistik məlumatlarından istifadə olunmuşdir. Həmçinin seçilmiş tədqiqat metodlarının icrası zamanı xarici və yerli müəlliflərin elmi araşdırmalarına, Azərbaycanda yükdaşıma və logistika xidməti göstərən şirkətlərin fəailyyət sahələri ilə əlaqədar gördükləri işlərlə bağlı öz rəsmi sayıtlarında dərc etdikləri statistik rəqəmlərə də yer verilmişdir.

Tədqiqatın mədudiyyətləri: Tədqiqat prosesində Nəqliyyatla bağlı bir üzrə son bir neçə ilin statistik nəticələrinə əlçatanlığın zəif olması və Global miqyasda pandemiyanın yayılması eləcə də Tədqiqat zamanı müharibə və digər səbəblərdən ölkədə internetə çıxışın dayandırılması müəyyən çətinliklər yaratmışdır.

Tədqiqatın elmi yeniliyi: Nəqliyyat daşımalarının Azərbaycan nümunəsində modelləşdirilməsi, Nəqliyyat modellərinin Azərbaycanda real biznes nümunəsinə uyğunlaşdırması imkanları eləcə də gələcək elmi araşdırmalara zəmin açması tədqiqatın elmi töhfəsini əks etdirə bilər. Eləcə də Azərbaycan dilində qaynaqların artırılmasında tədqiqat işi müstəsna rol alır.

Nəticələrin praktiki əhəmiyyəti və tətbiq sahələri: Aydın məsələdir ki, Nəqliyat həyatımızın bütün sahələrinə geniş daxil olub. Bu tədqiqat işində ,dövlət və özəl müəssisələrdə nəqliyyatda optimallaşdırmanı tətbiq etməklə inkişafın təşkilini və bu inkişafin davamlılığnı təmin etmək üçün bu sahəyə nə dərəcədə diqqətin ayrilmasinin zəruriliyini ortaya çıxaracaqdır.

I FƏSİL. NƏQLİYYATDA OPTİMALLAŞDIRMANIN NƏZƏRİ ASPEKTLƏRİ

1.1. Nəqliyyat planlaşdırma problemi (Vehicle Routing Problem–NPP)

Nəqliyyat Planlaşdırma problemi (NPP), "müəyyən bir müştəri qrupuna çatdırmaq üçün nəqliyyat vasitələrinin ən yaxşı marşrut planlanması nədir?" sualına cavab verən kombinatorial optimallaşdırma və proqramlaşdırma problemidir. Nəqliyyat məsələsi məhşur Tacir Məsələsinin (TSP – Travelling Salesman problem) bir nümunəsidir. Bu alqoritmik yanaşma ilk dəfə 1959-cu ildə George Dantzig və John Ramser tərəfindən hazırlanmışdır və benzin tədarükünə tətbiq olunan bir tədqiqatda istifadə olunmuşdur. Tez-tez bu üsuldan məhsul sifariş verən müştərilərə mərkəzi bir anbarda yerləşən malların çatdırılmasının ən optimal yolunun tapılmasında istifadə olunur. NPP-nin məqsədi ümumi səyahət qiymətini minimuma endirməkdir. 1964-cü ildə Clarke və Wright qənaət alqoritmi adlanan yeni bir yanaşma istifadə edərək Dantzig və Ramserin yanaşmalarını inkişaf etdirdilər. Riyazi proqramlaşdırma və ya kombinatorial optimallaşdırma istifadə edilərək optimal şəkildə həll edilə bilən problemlərin ölçüsü məhduddur. Buna görə də, bu tip problem həll edənlər, həll etməli olduqları real dünya NPP-lərinin ölçüsü və tezliyinə görə fərqli üsullardan istifadə edirlər. NPP-nin sənayedə bir çox birbaşa tətbiqləri var. Əslində, nəqliyyat optimallaşdırma metodlarının istifadəsi bir şirkətə 5% qənaət edə bilər, çünki nəqliyyat bir qayda olaraq məhsulun maya dəyərinin əhəmiyyətli bir hissəsidir (10%) - həqiqətən nəqliyyat sektoru AB-nin ÜDM-nin 10% -in təşkil edir. Nəticədə, NPP-nin yaratdığı 5%-dən az qənaət belə çox mühüm dərəcədə əhəmiyyətlidir.

Tacir Məsələsi (TM). Tacir Məsələsi verilmiş şəhərlər və mümkün olan şəhərlər cütlüyü arasında səyahət xərclərini (və ya məsafəsini) nəzərə alaraq, bütün şəhərləri ziyarət etmək və səyahət xərclərini (və ya səyahət məsafəsini) minimuma endirərək başlanğıc nöqtəsinə qayıtmaq üçün mümkün olan ən yaxşı yolu tapmaqdır. N - ziyarət ediləcək şəhərlərin sayıdırsa, onda bütün şəhərləri əhatə edən mümkün marşrutların ümumi sayı TSP-nin mümkün həll yolları toplusu (n-1)! / 2 olaraq verilir.

Geniş şəkildə TM simmetrik Tacir məsələsi (sTM), asimmetrik Tacir Məsələsi (ÇTM) və Çox Səyahətli Tacir Məsələsi(ÇTM) kimi təsnif edilir. sTM: V = {v_1, ..., v_n } şəhərlər dəsti, A = {(r,s): r,s V = ∈}. sTSP hər bir şəhəri bir dəfə ziyarət etməklə minimal məsafəli səyahət(qapalı) tapmaq problemidir. Bu vəziyyətdə $v_i \in V$ şəhərləri (x_i, y_i) koordinatları ilə verilir və d_{rs} r ilə s arasındakı Evklid məsafəsidir.

ÇTM aşağıdakı kimi təyin olunur: Müəyyən bir nöqtələr dəstində, tək bir anbar qovşağında m tacirlər olsun və Ziyarət ediləcək qalan şəhərlər aralıqlarda yerləşmişlər. ÇTM bütün m satıcılar üçün başlanğıc və anbarda bitən turların tapılmasını nəzərdə tutur, beləliklə hər bir arada yerləşən nöqtə dəqiq bir dəfə ziyarət ediləcək və bütün qovşaqlara səyahətin ümumi dəyəri minimuma endiriləcəkdir. Xərc funksiyası məsafə, vaxt və s. Baxımından müəyyən edilə bilər. Problemin mümkün dəyişiklikləri aşağıdakılardır: Tək və çoxsaylı anbarlar: Tək bir anbarda bütün satıcılar turlarını tək bir nöqtədə bitirə bilər, çoxsaylı anbarlarda satıcılar ya ilk anbarlarına qayıda bilər, ya da hər hansı bir digər anbarda sonlaya bilərlər(o şərtlə ki hər anbardakı ilkin satıcı sayını bərabər saxlansın). Satıcıların sayı: Problemdəki tacirlərin sayı sabit və ya dəyişən ola bilər. Məhdudiyyətlər hər bir satıcının ziyarət edə biləcəyi qovşaq sayı, satıcının keçdiyi maksimum və ya minimum məsafə və ya digər məhdudiyyətlər ola bilər. ÇTM tez-tez heç bir məhdudiyyət olmadığı yerdə rahat Nəqliyyat planlanması (NPP) kimi istifadə olunur. Bu səbəbdən satış işçilərinə (və ya nəqliyyat vasitələrinə) böyük bir tapşırıq təyin edildikdə, NPP üçün formullar və həll üsulları ÇTM üsulu ilə həll edilə bilər. Bununla yanaşı, yalnız bir Tacir olduqda isə ÇTM TM-ə çevrilir (Bektaş, 2006).

TM-nin birbaşa tətbiqi təkcə nəqliyyatda deyil həmçinin müxtəlif sahələrdə mümkündür. Məsələn Tacir məsələsinin həlli üsulu Elektron mikrosxemaların üzərindəki nodları birləşdirmək üçün istifadə olunur (Grötschel, 1991). Bir təbəqədə bir keçiricini başqa bir təbəqədəki nöqtə ilə birləşdirmək və ya inteqral sxemlərin sancaqlarını yerləşdirmək üçün lövhədən dəlik açmaq lazımdır. Dəliklər fərqli ölçülərdə ola bilər. Ardıcıl olaraq müxtəlif diametrli iki dəlik açmaq üçün dəzgahın başı bir alət qutusuna keçməli və dəlmə avadanlığının yeri dəyişdirilərək növbəti nöqtədə dəlmə işi başladılmalıdır. Bu kifayət qədər vaxt aparır. Beləliklə, dəliklərdən sadəcə birinin diametrini seçməli, eyni diametrdə olan bütün dəlikləri açmalı, matkabı dəyişdirməli, növbəti diametrdə olan dəlikləri açmalı və s. Beləliklə, bu qazma probleminə bir sıra TM-lər kimi baxmaq olar. Tacir Məsələsindəki arqumentləri bu problemdə qoya bilərik. İki şəhər arasındakı məsafə, qazma başlığını bir mövqedən digərinə keçirmək üçün lazım olan vaxta deyə bilərik. Məqsəd maşın başlığı üçün səyahət müddətini minimuma endirməkdir.

Qaz turbinli mühərriklərin əsaslı təmiri (Plante, 1987). Bu problem təyyarələrin qaz turbin mühərrikləri əsaslı təmir olunmalı olduqda meydana gəlir. Turbinlərdən vahid bir qaz axını təmin etmək üçün hər bir turbin qatında yerləşən kanat cütləri var. Bütün bu kanatlar fərdi xüsusiyyətlərə malikdir və onların düzgün yerləşdirilməsi xeyli fayda verə bilər (titrəmənin azaldılması, axının bərabərliyinin artırılması, yanacaq sərfinin azaldılması). Kanatların ən yaxşı şəkildə yerləşdirilməsi problemi, xüsusi bir obyektiv funksiyasına sahib bir TM kimi modelləşdirilə bilər.

Rentgen kristalloqrafiyası Kristalların quruluş analizi TM-in vacib bir tətbiqidir (Bland, Shallcross -1989; Dreissig, Uebach - 1990). Burada kristal materialın quruluşu haqqında məlumat əldə etmək üçün rentgen şüalandırılmasından istifadə olunur. Bu məqsədlə bir detektor kristalın rentgen əks olunmasının intensivliyini müxtəlif yerlərdən ölçür. Ölçmənin özü kifayət qədər sürətli bir şəkildə həyata keçirilə bilsə də, bəzi təcrübələr üçün yüz minlərlə mövqenin reallaşdırılması lazım olduğu üçün yerləşdirmə vaxtında xeyli zaman itir. Bəhs etdiyimiz bu nümunədə yerləşdirmə dörd mühərrikin hərəkət etməsindən yaranır. Bir mövqedən digərinə keçmək üçün lazım olan vaxt çox dəqiq hesablana bilər. Təcrübənin nəticəsi müxtəlif mövqelərdə ölçmələrin aparılma ardıcıllığından asılı deyil. Lakin təcrübə üçün lazım olan ümumi vaxt ardıcıllıqla bağlıdır. Buna görə problem ümumi yerləşdirmə müddətini minimuma endirən bir ardıcıllıq tapmaqdan ibarətdir. Bu, problem Tacir Probleminin həll üsulu ilə həll oluna bilər.

Lenstra və Rinnooy Kan 1974-cü ildə Kompüter naqillərinin kompüter lövhəsində komponentlərin birləşdirilməsinin xüsusi bir vəziyyəti barədə tədqiqat aparmışlar. Modullar bir kompüter lövhəsində yerləşir və müəyyən bir naqil dəsti ilə bağlanmalıdır. Bir ağacvari bağlanma adi haldan fərqli olaraq, burada hər bir nöqtəyə ikidən çox simin bağlanması tələb olunur. Beləliklə, müəyyənləşdirilməmiş başlanğıc və son nöqtələri olan ən qısa Hamilton yolu tapmaq problemi ortaya çıxır. İstehsal olunan lövhəni sınamaq üçün müəyyən bir nöqtədə lövhəyə daxil olan, bütün modullardan keçən və müəyyən bir nöqtədə sona çatan bir əlaqə yaratmaq lazımdır. Hər bir modul üçün bu test kabelləri üçün müəyyən bir giriş və çıxış nöqtəsi var. Bu problem həm də məsafələrin simmetrik olmadığı və başlanğıc və bitmə nöqtəsinin göstərildiyi fərqi ilə Hamilton probleminin həllinə bərabərdir.

Anbarlarda sifariş seçmə məsələsi. Bu problem anbarda maddi işləmə ilə əlaqələndirilir (Ratliff və Rosenthal, 1983). Bir anbara anbarda saxlanılan əşyaların müəyyən bir hissəsi üçün sifariş gəldiyini düşünək. Bəzi nəqliyyat vasitələri bu sifarişin bütün elementlərini müştəriyə göndərmək üçün toplamalıdır. TM ilə bu problem arasında əlaqə görmək mümkündür. Əşyaların saxlanma yerləri qovşaqlara uyğundur. İki qovşaq arasındakı məsafə, elementin bir yerdən digərinə köçürülməsi üçün lazım olan vaxtla verilir. Minimum yükləmə müddəti olan nəqliyyat vasitəsi üçün ən qısa yol tapmaq problemi artıq TM olaraq həll edilə bilər. Xüsusi hallarda bu problem Van Dal tərəfndən təklif edilən üsulla asanlıqla həll edilə bilər (van Dal, 1992).

NPP – Nəqliyyat Planlaşdırma Məsələsi. Tutaq ki, bir şəhərdə n poçt qutuları hər gün müəyyən bir müddətdə, yəni 1 saat ərzində boşaldılmalıdır. Problem, bunu etmək üçün minimum yük maşını sayını və bu sayda yük maşını istifadə edərək toplamalar etmək üçün ən qısa müddət tapmaqdır. Başqa bir nümunə olaraq, fərz edək ki, n müştəri müəyyən miqdarda mal tələb edir və təchizatçı yük maşınları parkı ilə bütün tələbləri ödəməlidir. Problem hər yük maşınının tutumunun aşılmaması və ümumi səyahət məsafəsinin minimuma endirilməsi üçün yük maşınlarına müştəri tapşırığı və hər yük maşını üçün bir çatdırılma cədvəlini tapmaqdır. Zaman və tutum məhdudiyyətlərinin birləşdirildiyi bu iki problemin dəyişkənliyinə aid bir çox real tətbiqləri var. Bu problem zaman və tutum məhdudiyyətləri olmadıqda və yük maşınlarının sayı müəyyənləşdirildikdə TM olaraq həll edilə bilər. Bu vəziyyətdə bir m-satıcı problemi əldə edirik. Buna baxmayaraq, TM bu problem üçün mümkün həll yolları tapmaq üçün əksər metodları özündə ehtiva edir (Lenstra, Rinnooy Kan, 1974).

ÇTM-in əsas tətbiqi çoxsaylı daşıyıcıarla işləmək xüsusiyyəti olduğu üçün real ssenarilərdə çox geniş istifadə olunur. Bu hallar daha çox müxtəlif marşrutlaşdırma və planlaşdırma problemlərində istifadə olunur. Ədəbiyyatdakı bəzi bildirilən tətbiqetmələr aşağıda təqdim olunur.

Çap mətbuatında planlaşdırma problemi: ÇTM-nin önəmli və əsas tətbiq hallarından biri çoxsaylı nəşrlərlə dövri mətbuata bir çap maşınının planlaşdırılmasında yaranır. Burada, kağız rulonların və bir səhifənin hər iki tərəfinin eyni vaxtda sıxılan beş cüt silindr mövcuddur. Buraxılışları çap etmək üçün istifadə olunan 4, 6 və 8 səhifəlik formaların üç növü mövcuddur. Planlaşdırma problemi prosesin hansı formada olacağına və silindirlərin fırlanma uzunluğuna qərar verməkdən ibarətdir. Bu istiqamətdə Gorenstein (1970) və Carterlə Ragsdale (2002) daha geniş araşdırmalar aparmışlar.

Məktəb avtobusu planlaşdırma problemi: 1972-ci ildə Angel və bir sıra müəlliflər ÇTM -nin bəzi əlavə məhdudiyyətlərlə dəyişməsi kimi avtobusların planlaşdırılması problemini araşdırdı. Planlaşdırmanın məqsədi marşrut sayının minimuma endirilməsinə, bütün avtobusların qət etdiyi ümumi məsafənin minimuma enməsinə, heç bir avtobusun yüklənməməsinə və hər hansı bir marşrutdan qarşıya qoyulmuş maksimum vaxt sərhədini keçməməsinə imkan verən bir avtobus planlama qaydası əldə etməkdir.

Bank depozit problemi: Fərqli filial bankları arasında depozit daşıma müraciəti bir çox akademiklər tərəfindən araşdırılıb. Burada əmanətlərin filial banklarından götürülməsi və bir qrup daşıyıcı tərəfindən mərkəzi ofisə qaytarılması lazımdır (Svestka və Huckfeldt, 1973). Problem ümumilikdə minimum dəyəri olan marşrutların müəyyənləşdirilməsidir. Buna oxşar tətbiq Lenstra və Rinnooy Kan tərəfindən 1975-ci ildə geniş araşdırılmışdır.

Müsahibə planlaşdırma problemi: Tur brokerləri və turizm sənayesi əməkdaşları arasında danışıqların planlaşdırılmasında çox dövrlü dəyişikliklərə malik ÇTM tətbiqi mümkündür. Hər bir vasitəçi, bir sıra T şəhərləri ilə təmsil olunan müəyyən bir satıcıya cavab verərək optimal bölgü təmin edilir (Gilbert və Hofstra, 1992).

İsti yaymanın planlaşdırması problemi: Dəmir və polad sənayesində, isti yayma fabrikində sifarişlər istehsal müddətində ümumi quraşdırma xərclərinin minimuma endirilə biləcəyi şəkildə planlaşdırılır. Bu cür problemin modelləşdirilməsinə dair son tətbiqetmənin Tang tərəfindən 2000-ci ildə detallı qeyd edilmişdir. Modelin həlli isti zolaqlı yayma fabriki üçün tam bir planlaşdırma cədvəli verəcəkdir.

Missiya planlaşdırma problemi (orduda): Missiya planlaşdırma problemi, hər bir əsgərin (və ya planlayıcısının) missiyanın hədəflərini mümkün qədər qısa müddətdə reallaşdırması üçün optimal bir yol müəyyənləşdirməkdən ibarətdir. Missiya planlayıcısı n planlayıcıdan, bəzi planlaşdırıcıların ziyarət etməsi lazım olan m hədəflərindən və bütün planlaşdırıcıların sonunda qayıtmalı olduğu əsas nöqtədən istifadə edən ÇTM -dir. ÇTM-nin missiyanın planlaşdırılmasında tətbiqi (Brummit və Stentz, 1998) tərəfindən bildirilir. Eynilə (Ryan, 1998) tərəfindən araşdırılan pilotsuz hava vasitəsi tətbiqetmələrinin planlaşdırılmasında ortaya çıxan marşrut problemləri də ÇTM kimi modelləşdirilə bilər.

Qlobal naviqasiya peyk sistemi ölçmə şəbəkələrinin dizaynı: Saleh və Chelouah tərəfindən araşdırdılan ÇTM-nin son və maraqlı bir tətbiqi qlobal naviqasiya peyk sistemi (GNSS) ölçmə şəbəkələrinin yaranmasında mühüm rol oyandı. GNSS dünyadakı bütün yerləri əhatə edən və fəlakətlərə qarşı erkən xəbərdarlıq və idarəetmə, ətraf mühit və kənd təsərrüfatının monitorinqi və s. kimi real həyatda çox vacib olan kosmik bir peyk sistemidir. Sistemin məqsədi peyk avadanlığından istifadə edərək yer üzündə və yuxarıdakı bilinməyən nöqtələrin mövqelərini və coğrafi quruluşunu müəyyənləşdirməkdir. Qəbul edicilərin yerləşdirildiyi bu nöqtələr bir sıra müşahidə sessiyaları ilə əlaqələndirilir. Birdən çox qəbuledici və ya bir neçə iş dövrü olduqda, alıcılar üçün ən yaxşı sessiya sırasını tapmaq problemi bir ÇTM olaraq ifadə edilə bilər (Saleh və Chelouah, 2004).

ÇTM bir neçə növ NPP həllində istifadə edilə bilər. Mole 1983-cü ildə NPP üçün bir neçə alqoritmi izah edərək ÇTM-nin yaratdığı bir həll məkanında axtarış aparan bir metod təqdim edir. Bənzər bir kontekstdə ÇTM məsafəli məhdud bir NPP-də bir sıra müştərilərə xidmət göstərmək üçün lazım olan minimum nəqliyyat vasitəsini hesablamaq üçün istifadə edilə bilər (Laptore, 1985; Toth və Vigo, 2002). ÇTM qəbul etmə və çatdırılma problemi (QEÇP) ilə də əlaqəlidir. QEÇP, müştəri istəklərini yerinə yetirmək üçün bir sıra nəqliyyat vasitələri ilə optimal marşrutların müəyyən edilməsindən ibarətdir (Ruland və Rodin, 1997). Müştərilərə müəyyən vaxt aralığında xidmət göstəriləcəksə, problem zaman dəhlizlər müəyyənləşdirilmiş QEÇP (DQEÇP) probleminə çevrilir (Mitrovic-Minic, 2004).

Nəqliyyat marşrutlaşdırma problemlərini sadəq qaydada həll edəcəyiniz bir çox metod var. Məsələn, optimum marşrutlaşdırma böyük anbarlardakı forkliftlər üçün ən yaxşı üsullardan hesab olunur. Ən səmərəli marşruta qərar vermək üçün sadə metodlarından bəziləri bunlardır:

- Ən böyük boşluq
- S şəklində
- Koridordan-koridorda
- Kombinə edilmiş

Kombinə edilmiş metod ən mürəkkəb olsa da, ən səmərəli marşrutlaşdırma metodlarından biridir.

1.2.Tacir Məsələsi və Çoxsəyahətli Tacir Məsələsinin riyazi metodoligiyası

V çoxluğu = {1,. . . , n}, E = { i,j∈V, i <j} çoxluğu və A = {(i,j): i,j∈V; i ≠ j} bir dəstdir. Xərc matrisi C = (c_{ij}) E və ya A-da müəyyən edilir. Xərc matrisi $c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj}$ olduqda, bütün i, j, k üçün üçbucaq bərabərsizliyi keçərlidir. Bu nümunədəki $c_{ij} = (X_i - X_j)^2 + (Y_i\ Y_j)^2$ isə Evklid məsafəsidir. C_{ij} G-də *i*-dən $_j$-yə qədər olan ən qısa yolun uzunluğundadırsa, üçbucaq bərabərsizliyi də təmin edilmiş olur.

STM-nin tam proqramlaşdırma formulu. Bir çox TM formulaları ədəbiyyatda mövcuddur. Ətraflı araşdırmalar üçün (Orman və Williams, 2006) istinad edilə bilər. Bunlar arasında Dantzig metodologiyası TM üçün ən çox istinad edilən riyazi modellərdən biridir (Dantzig , 1954). Yeri gəlmişkən, hazırda mövcud olan ən dəqiq alqoritm kimi tanınan Konkradın erkən təsviri “Səyahət edən böyük Tacir problemləri üçün Dantzig – Fulkerson – Johnson alqoritmininin tətbiqi” (Applegate, 2003) başlığı ilə yayımlanmışdı. Bu formulyasiya, hər kənar (i, j) ilə ikili dəyişən x_{ij} -ni əlaqələndirir, yalnız kənar optimal həll olarsa 1-ə bərabərdir. TM-nin formulyasiyası aşağıdakı kimidir.

$$\sum_{i<j} c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

$$\sum_{i<k} x_{ik} + \sum_{j>k} x_{kj} = 2 \qquad (k \in V) \tag{2}$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \qquad (S \subset V, 3 \leq |S| \leq n-3) \tag{3}$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \qquad (i,j) \in E \tag{4}$$

Bu formulyasiyada məhdudiyyətlər (2), (3) və (4) sırasıyla dərəcə məhdudiyyətləri, intervalın aradan qaldırılması məhdudiyyətləri və tam ədəd olma məhdudiyyətləri olaraq adlandırılır. (2) iştirakı ilə məhdudiyyətlər (3) cəbri cəhətdən əlaqə məhdudiyyətlərinə bərabərdir

$$\sum_{i\in S, j\in V\setminus S, j\in S} x_{ij} \geq 2 \qquad (S \subset V, 3 \leq |S| \leq n-3) \tag{5}$$

ATM-in tam sayda proqramlaşdırma formulu asimmetrik halda olan formula asanlıqla çevrilir (Dantzig, 1954). Burada x_{ij} ikili dəyişəndir, (i, j) ilə əlaqələndirilmişdir. Düstur isə aşağıdakı kimidir.

$$\sum_{i\neq j} c_{ij} x_{ij} \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad (i \in V, i \neq j) \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad (j \in V, j \neq i) \tag{8}$$

$$\sum_{i,j\in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \qquad (S \subset V, 2 \leq |S| \leq n-2) \tag{9}$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \qquad (i,j) \in A \tag{10}$$

ÇTM-nin tam proqramlaşdırma formulaları. ÇTM üçün müxtəlif tipli proqramlaşdırma metodları təklif olunur. Onları təqdim etməzdən əvvəl bəzi texniki təriflər aşağıdakı qeyd etmək lazımdır. ÇTM, G = (V A,) qrafasında müəyyən edilir, burada V n düyün (təpələr) çoxluğu və A qövslər (kənarlar) çoxluğudur. C = (c_{ij}) A ilə əlaqəli bir xərc (məsafə) matrisi olsun C matrisi $c_i = c_{ji}$, ∀ (i j,) ∈A olduqda simmetrik və əks halda asimmetrikdir. Əgər $c_{ij} + c_{jk} \geq c_{ik}$, ∀i, j, k ∈V keçərlidirsə, C-nin üçbucaq bərabərsizliyini təmin etdiyi qəbul edilir. ÇTM üçün müxtəlif ədədi proqramlaşdırma formulları əvvəllər ədəbiyyatda təklif edilmişdir, bunlar arasında tapşırıq əsaslı metodlar, ağac əsaslı metodlar və üç indeksli axın əsaslı metodlar mövcuddur. Təyinatına görə bu metodlar aşağıdakı alt qruplara bölünür. Ağac əsaslı metodlar və üç indeksli formulyasiyalar Çox istiqamətli Tacir Məsələsində geniş istifadə edilir (Christofides, 1981).

Tapşırıq əsaslı tam ədədi proqramlaşdırma metodları. ÇTM ümumiyyətlə tapşırıq əsasında ikiqat indeksli tam xətti proqramlaşdırma üsulundan istifadə etməklə tərtib olunur. Əvvəlcə aşağıdakı ikili dəyişəni təyin edirik:

Əgər arc(i, j) bizim səyahətimizdə iştirak edibsə:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} ;$$

Əks halda, ÇTM-in tapşırıq əsaslı tam ədədi xətti proqramlaşdırma formulasının ümumi forması aşağıdakı kimi verilə bilər:

$$\sum_{j=2}^{n} x_{1j} = m \tag{11}$$

$$\sum_{j=2}^{n} x_{j1} = m \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 , \quad j = 2,\dots\dots,n \tag{13}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 , \ i = 2,\dots\dots,n \tag{14}$$

Burada (13), (14) və (16) adi məhdudiyyətlərdirsə, (11) və (12) satıcıların tam olaraq m qovşaqdan (anbar) çıxıb geri qayıtmasını ifadə edir. Məhdudiyyətlər bəzən üst üstə düşsə də tamlıq üçün onları burada qeyd edirik.

Dəqiq Həll yanaşmaları - STM üçün dəqiq alqoritmlər. İlk vaxtlar nəqliyyat problemləri ilə bağlı formulyasiya tətbiq olunduqda, simpleks metodu başlanğıc mərhələsində idi və tam xətti problemləri həll etmək üçün heç bir alqoritm mövcud deyildi (Dantzig, 1954).

Bu səbəbdən tədqiqatçılar başlanğıcda sadə məhdudiyyətlərdən və bütövlük tələblərindən ibarət olan bir strategiyadan istifadə etdilər ki, bu da sadə problemin həll yolunun əyani olaraq araşdırdırılmasını tələb edirdi. Martin 1966-cı ildə oxşar bir yanaşma istifadə etdi. Başlanğıcda x_{ij} dəyişənlərinə yuxarı sərhədlər qoymadı və j-nin i-ə ən yaxın qonşusu olduğu bütün S = {i, j} dəstlərinə əlavə marşrutların aradan qaldırılması məhdudiyyətləri qoydu. Bundan sonra "Sürətləndirilmiş Evklid alqoritmi" tətbiq olunmaqla Nəqliyyat məsələsindən yeni üsullar inkişaf etdirildi (Gomory, 1963). Miliotis 1978-ci ildə məhdudiyyətlərin sadələşdirilməsinə əsaslanan və tamlığa çatmaq üçün ya budaqlanan və ya Gomory qaydalarından istifadə edərək tamamilə avtomatlaşdırılmış bir alqoritm hazırlayan ilk tədqiqatçı idi. Land 1979-cu ildə daha sonra əlavə marşrutların aradan qaldırılması məhdudiyyətlərini, Gomory üsulundan ilhamlanaraq bir alqoritmi irəli sürdü. Uzun müddətdir ki, STM-nin xətti həlli etibarlı bərabərsizliklərin tətbiqi həll edilməsi məlumdur. Beləliklə, Edmonds 1965-ci ildə bərabərsizlikləri təkmilləşdirmək üçün ümumiləşdirilən 2 uyğunluq bərabərsizliyini təqdim etdi (Chv́, 1973). Klik ağac bərabərsizliyi (Grötschel və Pulleyblank, 1986) və yol bərabərsizlikləri (Cornúejols, 1985) kimi bəzi bərabərsizliklərinin ümumiləşdirmələri olduqca təsirli hesab olunur. Nəqliyyat məsələsində ən güclü tədqiqatlardan biri də bu gün simmetrik TM üçün mövcud olan ən yaxşı üsul olan Concorde tərəfindən hazırlanmışdır (Applegate, 2006). Bu kompüter proqramda həm bəzi məhdudiyyətlər, həm də dəyişənlər əvvəlcə sadələşdirilir və həll prosesi zamanı dinamik şəkildə generasiya olunur. Alqoritmdə 2 uyğun məhdudiyyət bərabərsizliyi və müəyyən yol bərabərsizliyi istifadə olunur. Pozulmuş bərabərsizlikləri müəyyənləşdirmək üçün güclü ayrılma alqoritmlərindən istifadə edir. Konkradın ətraflı təsviri kitabda (Applegate, 2006) tapıla bilər. Cədvəl 1 təyyarədə təsadüfi olaraq yaranan qəzalar üçün bildirilən bəzi nəticələri özündə cəmləşdirir. Bütün testlər hər biri 2.66 GHz IntelXeon prosessor və 2 Gbayt yaddaşla təchiz edilmiş hesablama avadanlıqları üzərində aparılıb. İstifadə olunan xətti proqramlaşdırma həlli CPLEX 6.5 idi. Konkradın bu tip nümunələr üçün olduqca etibarlı olduğu görülür. Bütün kiçik TM nümunələri (n-1000)

2.4 GHz ADM Opteron prosessorunda 1 dəqiqə ərzində həll edilir. 21 orta ölçülü TM nümunəsində (1000≤n-2392) alqoritm 5.7 ilə 3345.3 saniyə arasında dəyişən bir hesablama vaxtı ərzində 19 dəfə optimala yaxınlaşmışdır. İndi Konkrad tərəfindən optimal şəkildə həll edilən ən böyük instansiya 85900 təpədən ibarətdir (Applegate, 2009).

Cədvəl 1: Problemin Ölçüsündən asılı olaraq Kompüterdə həll sürəti

N	Type	Sample size	Mean CPU seconds
100	random	10000	0.7
500	random	10000	50.2
1000	random	1000	601.6
2000	random	1000	14065.6
2500	random	1000	53737.9

Mənbə: (Applegate, 2009). Problemin ölçüsü ilə onu kompüterlə həll etmə sürəti.

1.3. Nəqliyyat məsələsinin tətbiqləri

Nəqliyyat məsələsi, xətti proqramlaşdırma modellərinin orijinal tətbiqlərindən biridir. Bir firma müxtəlif tədarük mərkəzlərində mal istehsal edir. Bunları i = 1,. . . , m. şəklində adlandıraq, İ təchizat mərkəzində istehsal olunan tədarük S_i-dir. Mallara tələb n müxtəlif tələb mərkəzlərində yaranır. Bunları j = 1. , n. şəklində adlandıraq. J-ci tələb mərkəzindəki tələb D_j-dir. Firmanın problemi tədarük mərkəzlərindən tələb mərkəzlərinə minimum qiymətə mal almaqdır. Bir vahid i tədarük mərkəzindən j tələb mərkəzinə çatdırılma xərcinin C_{ij} olduğunu və daşıma xərcinin xətti olduğunu düşünək. Bu o deməkdir ki, tədarük mərkəzi i-dən j mərkəzinə tələb olunan bölmələr göndərsəniz, xərc c_{ij} olardı.

Problemi formalaşdırma mərhələlərindən birini edək: dəyişənləri təqdim etdik. İ təchizat mərkəzindən j tələb mərkəzinə göndərilən vahidlərin sayını təyin edək. Problem minimum xərclə daşıma ardıcıllığını təyin etməkdir. Məhdudiyyətlər budur ki, hər tələb mərkəzində tələbi (ən azı) ödənməlidir və hər tədarük mərkəzindəki təklifi aşmamalıdır.

Ardıcıllığın xərc dəyəri xəttilik fərziyyəsi ilə verilir

$\min \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} T_{ij}\ C_{ij}$

İndi məhdudiyyətlərə nəzər keçirsək, I təchizatı mərkəzindən göndərilən ümumi məbləğ T_{ij}-dir. x_{ij} i-dən j-yə göndərilən yükdür. İ-dən istənilən tələb mərkəzinə yük göndərmək mümkündür(1….n). Yuxarıdakı məbləğ yalnız i təchizatı mərkəzindən göndərilən ümumi yükü artırır. Bu miqdar mövcud tədarükü aşa bilməz. Bu səbəbdən əlavə məhdudiyyətlər var.

$x_{ii} \leq S_i$ bütün i = $1, \ldots,$n üçün

Eynilə, tələb mərkəzlərinin hər birində tələbi ödənməsinə zəmanət verən məhdudiyyətlər belə qeyd olunur.

$x_{ij} \geq$ Dj bütün j = $1, \ldots, n.$ üçün

Problemin həllinin mümkünlüyünü nəzərdən keçirtsək. Problemin mümkün ola biləcəyi yeganə yol, ümumi təklifin ümumi tələbi üstələməsidir ($\sum_{j=1}^{n} D_j \leq \sum_{i=1}^{m}$). Bu bərabərsizlik keçərli olmasa artıq tələb olardı. Bütün tələbi mövcud təklif ilə təmin etməyin yolu olmazdı. Əgər kifayət qədər təklif varsa, o zaman problemin məhdudiyyətlərini ödəyə biləcəyiniz mümkündür. Yəni artıq tələb olmadığı təqdirdə problem həll ediləndir. Ümumi təklifin tələbə bərabər olduğunu qəbul etmək şərtilə, yəni aşağadakı şərt doğrudursa,

$$\sum_{j=1}^{n} D_j = \sum_{i=1}^{m} S_i,$$

problemdəki bütün məhdudiyyətlər tənliklər şəklində olmalıdır (yəni ümumi təklif ümumi tələbə bərabər olduqda, mümkün bir nəqliyyat planı hər bir tələb mərkəzindəki tələbi tam olaraq qarşılayır və hər bir tədarük mərkəzindəki bütün təklifi istifadə edir, Artıq təklifin olduğu hallarda, problemi əlavə tədarükü sərbəst şəkildə həll edə biləcəyinizi düşünərək təklifi tələbə bərabər olan bir problemə çevirə bilərsiniz.)
Ümumi təklifin ümumi tələbə bərabər olmasını sadələşdirdikdən sonra Nəqliyyat məsələsinin standart formulasiyasına gətirilmiş olur. Problem şərtinə cavab verən və

xərc funksiyası C_{ij} - şəklində ümumiləşdirilir. Məqsəd həll etmək üçün göstərilən nəqliyyat planını göstərilən şərtlərlə tapmaqdır:

$$\min \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} x_{ij} c_{ij}$$

Məhdudiyyət şərtlərini həll zamanı nəzərə almaq lazımdır.

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = S_i \quad i = 1, \ldots\ldots m.$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = D_j \quad j = 1, \ldots\ldots m.$$

Bu problemdə dəyişənlərin tam ədədlər (və mənfi olmayan) qəbul olunması təbiidir. Çünki daşınılmış əşyaları yalnız tam sayda göndərə bilərsiniz. Nəqliyyat məsələsi, xətti bir məqsəd funksiyası və xətti məhdudiyyətlər ilə optimallaşdırma problemidir. Dəyişənlərin tam dəyərlər almasına qoyulan məhdudiyyəti görməməzlikdən gəlsək, bu, standart çərçivədə həll edilən digər problemlərlə eynilik təşkil edir. Exceldə Solver əlavəsindən istifadə edərək Nəqliyyat məsələsini həll edə bilərik. Nəqliyyat məsələsi bir sıra xüsusiyyətlərə malikdir. Məsələn, hər dəyişən tam iki məhdudiyyətdə (sıfır olmayan əmsalla) görünür. Dəyişənin sıfır olmayan bir əmsalı olduqda, əmsal müsbət ya da mənfi 1 olur. Bu xüsusi quruluşana görə Nəqliyyat məsələsinin həllində iki vacib məqam ortaya çıxır. Birincisi, nəqliyyat problemlərinin həlli üçün standart simpleks alqoritmindən daha səmərəli alternativ metodlar mövcuddur. Bunun praktikada vacib olduğu ortaya dəfələrlə çıxmışdır, çünki dünya nəqliyyat problemlərində çox sayda dəyişənlər var. İkincisi, xüsusi quruluşa görə Nəqliyyat məsələsini tam sayda həll etmək mümkündür. Yəni problemin məlumatları (tədarüklər, tələblər və xərclər) hamısı tam ədədlərdirsə, onda tam bir ədədin həlli mövcuddur. Bu xassənin əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, bəzən məhdudiyyətlərə cavab verən bir həll almaq üçün tam ədədli məhdudiyyətlər tətbiq etmək lazım deyil.

Nəqliyyat problemlərinin niyə tam həll yollarına sahib olması ilə bağlı iki fikir var. Bir fikir budur ki, mümkün nəqliyyat problemlərinin nöqtələrində tam koordinatları olmalıdır. Yəni k məhdudiyyətlərinin bir alt hissəsini yalnız k dəyişənlərdən istifadə edərək həll etsəniz, həll tam ədədlərdən ibarət olacaq. Məlumdur ki, Xətti Proqramlaşdırmanın (XP) həlləri müəəyən nöqtələrdə yaranır. Cəbrdə digər fikir- Simpleks alqoritmdə kəsrlər əldə edilir, çünki üzərində işlətdiyiniz elementə bölmək lazımdır. Nəqliyyat məsələsində elementlər həmişə vahid olacaq, bu səbəbdən bölünməyə ehtiyac yoxdur.

Hər XP-nin ikili yazılışı var. Nəqliyyat məsələsinin ikili yazılmasının ən yaxşı yolu budur: u_i və v_j-(i = 1,. . .m ; j = 1, ... n)

$$\max -\sum_{i=1}^{m} u_i S_i + \sum_{j=1}^{n} v_j D_j$$

$$u_i - v_j \leq c_{ij} \text{ for all } i = 1, \ldots, m \text{ and } j = 1, \ldots, n.$$

Bu hissədə ikilinin necə alınmasının izahı göstərilir. Nəqliyyat məsələsi qədər mürəkkəb bir problemin ikili formasını yazmaq bir qədər fərqlidir. Digər tərəfdən, ikilinin haradan gəldiyini bilmək son dərəcə faydalıdır. Yuxarıdakı ikilinin hazırlanmasına gəlmək bir az diqqət tələb edir. Əsas məqsəd orijinal Nəqliyyat məsələsini standart formata çevirmək, ikilisini almaq və sadələşdirməkdir. Ən yaxşı metod Nəqliyyat məsələsinin minimuma endirmə kimi yazıldığına diqqət yetirməkdir (beləliklə ikili makismallaşdırma olacaq); problemdə bərabərlik məhdudiyyətlərini unutmaq olmaz (belə ki, ikili dəyişənlər məhdudlaşdırılmayacaq). Bu, məqsəd funksiyada mənfi işarələr və ikili məhdudiyyətlər yaradılmış olur. Bu tərif riyazi baxımdan əhəmiyyətsizdir (bu nümunədə dəyişənə işarəsinə görə məhdudiyyət qoyulmur), lakin növbəti bənddə izah edilən məsələ ilə uyğun bir formaya gətirib çıxarır.

İndi ikilini şərh etməyə çalışaq. Orijinal Nəqliyyat məsələsində satıcı tədarük mərkəzlərindən tələb mərkəzlərinə mal aparmaq problemi ilə üzləşir. Bunun üçün yeganə yol, ənənəvi göndərmə xətlərindən istifadə etmək və C_{ij}-in izah etdiyi xərcləri ödəməkdir. İndi nümunə üçün təsəvvür edin ki, kimsə tədarükçü üçün malların daşınmasını təklif edir. Bu bilinməyən malgöndərən hər tədarük mərkəzində tədarükçüdən mal almaq (i təchizatı mərkəzindəki qiymətə) və tələb mərkəzi j-də v_j qiymətinə yenidən satmağı təklif edir. Bilinməyən yükgöndərən müəyyən üsulla malları aid olduqları yerə çatdırmağı bacarır. Orijinal satıcı, malların çatdırılma dəyəri çox böyük olmadığı müddətdə malların olduğu yerə necə çatdıqlarıylə maraqlanmır. C_{ij}, ənənəvi metodlardan istifadə edərək bir əmtəənin tədarük mərkəzindən i tələb mərkəzinə köçürülməsi üçün lazım olan məbləğdir. Vasitəçi yükgöndərəndən istifadə etmək (v_j-u_i) -ə başa gələcək - çünki satıcı malın alınması üçün pul ödəməlidir. Buna görə, ikili məhdudiyyətlər təmin edilərsə, yükgöndərəndən istifadə etmək şərti göndərmə metodlarından istifadə etməkdən daha bahalı deyil. İkili məqsəd funksiyası, gizli göndəricinin bütün tədarükü satın aldıqdan sonra tələb mərkəzlərində yenidən sataraq qazandığı məbləğdir. Bu müzakirə ikili şərhə gətirib çıxarır. Vasitəçi yükgöndərən hər bir tələb və təklif yerində qiymətləri təyin edir ki, bir malın göndərilməsinin xalis dəyəri birbaşa (ortaq) xərcdən çox olmasın və bunu xalis gəliri maksimum dərəcədə artırsın.

Təyinat Məsələsi (The Assignment problem). Təyinat məsələsi bərabər sayda tələb və təklif mərkəzinin olduğu və bütün tələb və təkliflərin birinə bərabər olduğu Nəqliyyat məsələsinin xüsusi bir vəziyyətidir. Bəzən "xərcləri" (C_{ij}) faydalar kimi şərh edir və minimuma endirmə probleminin tərsinə maksimallaşdırma problem həll edilir. Bu təfsir dəyişikliyi nəzəri cəhətdən o qədər də problem yaratmır.

Təyinat Problemi xüsusi diqqqətlə incələnməlidir, çünki bir çox maraqlı problemlərin həllində geniş istifadə edilir. Kiçik bir liqa beysbol komandasının nümunəsi ilə Təyinat Problemi izah edilə bilər. Komandadadakı doqquz uşağı diqqətlə izlədikdən sonra, i oyunçusunun j dəyərini verilir. Məqsəd iştirakçıları Mövqe Təyinatıdır - bu komandadakı hər bir oyunçu üçün bir mövqe tapılsın - hər oyunçu yalnız bir mövqedə oynasın və hər mövqedə yalnız bir oyunçu olsun (yəni yalnız bir cinah var və ən yaxşı oyunçu belə bir mövqedə oynaya bilər) məqsəd funksiyamız cəmi mümkün dəyəri maksimuma çatdırmaqdır. Əgər i oyunçu j mövqeyinə təyin etsən onda x_{ij}-in 1-ə bərabər olar əks halda isə 0 olacaqdır, problem həll ediləcək x_{ij}-i tapmaqdır.

$$\max \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} x_{ij} a_{ij}$$

Şərtlər:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad j = 1, \ldots\ldots n$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad j = 1, \ldots\ldots n$$

Digər tərəfdən, dəyişənlər 0 və ya 1 dəyərlərini almalıdır (əks halda sizin tapşırığınızda insanları hissələrə ayırmağı nəzərə almış olacaqsınız.)

Təyinat məsələs geniş bir tətbiq sahəsinə malikdir. Modelin dəyişiklikləri tibb işçilərinin xəstəxana təlim proqramlarına təyin etmək üçün istifadə olunur. Modelin mürəkkəb versiyaları müxtəlif planlaşdırma məqsədləri üçün istifadə olunur (siniflərə dərslərin planlaşdırılması və ya peşəkar idman liqalarındakı komandalar arası görüş oyunlarının planlaşdırılması).

Təyinat məsələsi hər hansı bir real problemi modelləşdirmək üçün çevik bir kombinator optimallaşdırma problemidir. Əslində, təyinat problemindəki bir neçə müxtəlif sahədə tətbiq olunmuşdur və bu sahələrdən bəziləri dərindən araşdırılmışdır, məsələn, təhsil sahəsində istifadə olunan məhdudiyyətlər və həll metodologiyası.

Tədqiqat işində təyinat məsələsinə dair bir sıra nümunələr verilmidşir. Və təyinat məsələsinin həllində müxtəlif yolların tətbiq olunduğu bir neçə həll yanaşması təmin edilmişdir.

Bundan əlavə, problemin həllində düzgün yanaşmaları seçmək çox vacibdir ki, problemin mürəkkəbliyindən asılı olaraq optimal və ya optimala yaxın bir həll tapılsın. Təyinat məsələsi real vəziyyətlərdə tətbiq oluna bilən müxtəlif tətbiqlərdə həll təklif etdiyi kimi bəzi problemlərdə həlli olmayan tapmaca olaraq qalmışdır. Təyinat məsələsinin tətbiq edildiyi bir sıra praktiki nümunəyə baxmaqla bu metadologiyanın üstünlüklərini görmək mümkündür.

Bölüşdürmə məsələsi. Bölüşdürmə məsələsi bir təyinat məsələsinin bir növü kimi qəbul edilmişdir. Əslində, bölüşdürmə məsələsi, optimallaşdırma və ya əməliyyatlar tədqiqi bölməsinə aid bir kombinatorial optimallaşdırma problemi kimi təsnif edilir. Bölüşdürmə məsələsi xüsusilə təhsil sahəsində müxtəlif növ tətbiqlərlə ədəbiyyatda müzakirə olunan məşhur bir məsələdir. Bölüşdürmə məsələsi aşağadakı xüsusi növlərə ayrılır:

- Tələbə layihə bölgüsü məsələsi
- Yeni tələbələrin bölgüsü məsələsi
- Məkan bölgüsü məsələsi

Tələbə-layihə bölgüsü məsələsi. Tələbə-layihə bölgüsü məsələsi, bir tələbənin konkret bir layihəyə tələbə və mühazirəçilərin üstünlük və ya marağına əsaslanmaqla təyin edilməsi ilə əlaqədardır. Tələbə-layihə bölgüsü problemi bir sıra layihələr, tələbələr və mühazirəçilərdən ibarətdir və bu məsələdə hər bir mühazirəçiyə bir layihə təklif olunur və həm mühazirəçilərin, həm də layihələrin bəzi məhdudiyyət şərtləri var. Tələbələr layihə seçimində, mühazirəçilər tələbə seçimində müəyyən sərbəstliyə malikdirlər. Beləliklə, tələbə-layihə bölgüsü iki qrupun üzvlərinin, tələbə və mühazirəçilərin sərbəst seçim hüququna malik olduqları sabit bir uyğunlaşma problemi kimi qəbul edilir.

Beləliklə, problemi həll etmək üçün həm sərt, həm də yumşaq məhdudiyyətlər nəzərə alınmalıdır. Müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən tələbə-layihə bölgüsü məsələsi araşdırılmış və fərqli məhdudiyyət şərtləri təqdim edilmişdir. Tələbə-layihə bölgüsü probleminin əksər hallarda tətbiq edilən məhdudiyyətlər bunlardır.

- Seçim sərbəstliyi
- Resursların məhdudluğu

Yeni tələbə bölgüsü məsələsi. Yeni tələbə bölgüsü məsələsi segmentasiya metodu ilə sinifdəki tələbələr arasındakı bilik fərqlərinin minimum olması şərti ilə uyğun siniflərə yeni şagirdlərin yerləşdirilməsidir: təxminən eyni biliyə sahib olan şagirdlər eyni siniflərdə təhsil alacaqdır. Fərqli tədqiqatçılar yeni tələbə bölgüsü məsələsində iştirak edən məhdudiyyətləri təqdim etmişdir. Əslində Zukhri and Omar və Hassim-in apardıqları tədqiqatlar, hər sinifdə optimal şagird tutumunu saxlamaq şərti ilə yeni tələbələri müəyyən siniflərə bölünməsini təklif etmişdir. Hər sinifdəki şagird sayı maksimum tutumu keçməməlidir. Müxtəlif qurumlarda hal hazırda tələbələrin siniflər üzrə bölgüsü bu metodla müəyyən edilir və bu çox effektiv yanaşmalardan biri hesab edilir. Çünki bu metodla siniflərdəki şagirdlərin səviyyəsinin yaxın olması əsas şərt kimi götürüldüyü üçün siniflərdə dərs zamanı nə çox irəli getmirlər nə də geri qalmalar yaşanmır.

Məkan bölgüsü məsələsi. Məkan bölgüsü problemi məkan sahələrinə mövcud resursların ayrılması məsələsini nəzərdə tutur. Məsələn tutaq ki otaqların bölgüsünün aparılması tələb olunur lakin eyni zamanda bir neçə tələb və məhdudiyyətə cavab verilməlidir. Bundan əlavə, Burke və Varley öz tədqiqatlarında məkan bölgüsü problemlərini detallı şəkildə otaq və ya sahə bölgüsü şəklində təsnifləşdirmişlər. Yer məhdud olduğu üçün otaqlar uyğun istifadəçilərə ayrılaraq otaq bölgüsü düzgün idarə olunmalıdır. Bununla yanaşı, bu bölgü tələblərçün bir sıra dərslərə mövcud sinif otağının təyin olunmasını da əhat edir. Məkan bölgüsü probleminin məqsədi maksimum yer istifadəsini təmin etmək və bütün tələbləri və məhdudiyyətləri mümkün qədər təmin etməkdir. Bu vəziyyətdə, heç bir israf və ya həddindən artıq istifadə edilmiş ərazinin meydana gəlməməsi üçün lazım olan bütün otaqlar ayrılmalı və əlavə məhdudiyyətlər təmin edilməlidir. Burda mövcud məkan sahələrinin və fərdlər tələbləri şərtinin dəyişikliyə məruz qalmadığı vacib nüanslardandır.

Məkan bölgüsü probleminin həlli üçün akademik ədəbiyyatda müxtəlif həll yanaşmaları təklif edilmişdir, burada bəzi tədqiqatlar yer ayırma probleminin həllində dəqiq yanaşmaları təklif etmişdir. Məsələn Gosselin və Truchon cəza funksiyasını minimuma endirmək üçün Xətti Proqramlaşdırma modelindən istifadə edərək bir təhsil müəssisəsində sinif otaqlarının bölgüsünü təklif etmişlər. Əvvəlcə model tələb olunan bütün otaqları təmin edir və sonrakı mərhələd təmin edilmiş otaqları istəklər arasında bərabər şəkildə yaymağa çalışır. Bundan əlavə Phillips Tamsaylı Proqramlaşdırmanın yeni bir formulası əsasında universitet dəsrsləri cədvəlinin sinif təyinatı problemini həll etmişdir. Təklif olunan yanaşma əvvəlki modelləri sadələşdirdi və böyük nümunələrlə sınaqdan keçirildikdə belə arzuolunan nəticələr göstərdi.

Siniflər üzrə dərslərin vaxt planlaşdırma problemi. Dərs qrafiki müəyyən bir məhdudiyyəti təmin edərkən kursların, otaqların, tələbələrin və mühazirəçilərin müəyyən bir müddətə, ümumiyyətlə bir iş həftəsinə təyin edilməsi prosesini nəzərdə tutur. Obitə görə universitet dərslərinin cədvəli, bütün universitet müəllimlərinin bir sıra dərslərdə iştirakını nəzərdə tutur. Lakin, eyni anda mühazirəçilərin iki fərqli siniflrədə olmasının və bir sinifdə iki müəllimin dərsinin olmasması məhdudiyyətləri həll zamanı nəzərdə tutulmalıdır. Bundan əlavə olaraq, Obit, əslində imtahan və dərs qrafiki probleminin bəzi nümunələrinin təxminən eyni olduğunu, lakin bəzi nümunələrədə bir sıra fərqlərin olduğunu qeyd edir. Məsələn, imtahan vaxtı cədvəlində, otaqda yerləşə biləcək iştirakçı məhdudiyyətinin aşılmaması şərti ilə otaqda eyni vaxtda birdən çox imtahan təyin oluna bilər, bununla yanaşı, qeyd edilən hal normal olaraq bir otaqda iki qrupa seminar dərslərinin keçirilməsi nümunəsində artıq doğru olmur.

Tipik olaraq, bütün məhdudiyyətləri təmin etmək üçün dərs cədvəli problemi üçün mümkün bir cədvəl qurarkən, problemin obyektiv funksiyası minimuma endirilməlidir.

Bununla yanaşı cədvəl tərtib olunarkən bəzi yumşaq məhdudiyyətlərin pozulması halları da nəzərə alına bilər. Dərs cədvəli məsələsində iştirak edən məhdudiyyətlərin digər nümunəsi kimi hər sinifin düzgün mühazirəçi sayından ibarət olmasıdır. Belə ki heç bir tələbə birdən çox mühazirədə iştirak edə bilməz. eyni zamanda və bir mühazirəçi tam bir otaqda təyin olunmalıdır.

Son dövrlərdə təhsil sahəsindəki təyinat problemi üçün müxtəlif metodlar təklif edilmişdir. Əslində, tədqiqatçılar bu problemləri həll etmək üçün bir neçə optimallaşdırma prosedurunu uyğunlaşdırmaq üçün çox çalışmışlar. Üstəlik, müəyyən bir həll proseduruna uyğun olaraq aktual problemi formalaşdırmaq ümumiyyətlə asan olmur və həll keyfiyyətindən tam istifadə etmək üçün çox iş görülməlidir. Beləliklə, tapşırıq problemləri üçün təsirli həll yollarının müəyyənləşdirilməsində hələ də bir neçə tədqiqat davam edir.

Dərs cədvəli problemi özü də müəyyən xüsusiyyətlərinə görə aşağadakı qruplara bölünür.

- imtahan vaxtı cədvəli məsələsi
- kurs qrafiki cədvəli məsələsi
- məktəb cədvəli məsələsi

Görüldüyü kimi, əksər tədqiqatçılar bu qeyd olunan problemləri həll etmək üçün yeni metodologiyaları tətbiq etdilər. Bununla birlikdə, bir sıra tədqiqatçılar qeyd edildiyi kimi daha mürəkkəb bir problemin həlli üçün gələcək işlər üzərində çalışırlar. Yeni yanaşmalar işərisində, son dövrlərdə məhşurluq qazanmış, təbiətdən ilhamlanan arı koloniyası optimallaşdırması kimi araşdırmalar xüsusilə seçilir. Bundan əlavə, tədqiqatlar yaxşı həll keyfiyyəti əldə etmək üçün ümumi bir yanaşma olaraq hiperevristika yanaşmasına yönəlməyə meyllidir.

Kurs vaxtı cədvəli probleminin əvvəlki tədqiqatları problemi həll etmək üçün müxtəlif üsulların tətbiq olunduğunu göstərdi. Təklif olunan yanaşma ümumiyyətlə problemin mürəkkəbliyindən, problemin mürəkkəbliyi problemin ölçüsündən asılı idi və problemin çətinliyi müxtəlif məhdudiyyətlər və üstünlüklərlə əlaqəli idi. Bununla birlikdə, ədəbiyyatda kurs qrafiki problemi ilə bağlı əksər nəşrlər real problemlə müqayisədə etalon probleminin sınağına yönəldilmişdir. Digər problemlə müqayisə edildikdə, bu problemdə müxtəlif üstünlüklər tətbiq olunmuşdur. Dərs cədvəli problemi əsasən problemin əsas məhdudiyyət şərti ilə həll edildi. Beləliklə, problemin tələb və seçimlərini daha çox anlamaq üçün bu problemin tədqiqatçılar tərəfindən araşdırılması üçün daha böyük bir fürsət var. Beləliklə, bu, etalon problemi ilə problemin həqiqi halları arasındakı boşluğu aradan qaldırır. Problemin öhdəsindən gəlmək üçün təklif olunan metodologiya baxımından daha çox araşdırılmaq potensialına malikdir. Beləliklə, sürətə əsaslanan yanaşmanın dərs cədvəli problemi daxilində daha da araşdırılması üçün böyük bir fürsət var.

Son dövrlərdə problemlərin həllində bir çox tədqiqatçı müxtəlif üsullar təklif etmişdir. Əsas məqsəd müəllimlərin eyni vaxtda iki sinifə qatılmasının qarşısını almaq olduqda problemlər daha da daralmış olur. Buna görə tədqiqatçılar problemin həqiqi hallarını daha çox anlamağa meyl etdilər. Təklif olunan üsullara gəldikdə, local axtarış əsaslı texnikanın daha çox araşdırılması potensialı var, çünki ədəbiyyatın əksəriyyəti yaxşı həll tapılmasına yönəlmişdir. Bundan əlavə, son trend, tam proqramlaşdımra modelinin təyinat məsələsinin həllində də populyar olduğunu göstərdi. Tədqiqatların əksəriyyəti problemə optimal bir həll vermək üçün bir alqoritm təklif etdi.

Bütünlükdə bölməni nəzərdən keçirdikdə anlayırıq ki nəqliyyat məsələsinin həlli üçün təklif olunan üsullar təkcə nəqliyyat və yükdaşımalarda deyil digər sahələrdə də rahatlıqla tətbiq imkanlarına sahibdir. Həyatımızın əksər mərhələlərində birbaşa nəqliyyat olmasa da nəqliyyata bənzər proseslər baş verir. Məsələn dərs zavodlarda hər hansısa məhsulun istehsalı prosesi ilkin baxışda nəqliyyat problem kimi görünməyə bilər, lakin məsələyə detallı baxdıqda prosesin davamlılığı, ardıcıllığı və digər xüsus baxımından bu proseslərin nəqliyyat probleminə çevrilə biləcəyi aydın olur. Ona görə də tədqiqatçıların bir çoxları nəqliyyat problemindən ilhamlanaraq burden alınmış nəticələri təkcə yükdaşımaya və ya nəqliyyata deyil, ilkin baxışda əlaqəsi olmayan geniş bir sahələrə tətbiq etmişlər.

II FƏSİL.NƏQLİYYAT MƏSƏLƏSİNİN REAL PROBLEMLƏRDƏ TƏTBİQİ

2.1. Macar üsulu ilə optimal nəqliyyat bölgüsünün tətbiqi

Macar üsulu. Təyinat problemi xətti proqramlaşdırma problemidir (dəyişənlərin sıfır və bir dəyərlərini qəbul etdiyi əlavə məhdudiyyət şərtləri ilə). Ümumiyyətlə, əlavə məhdudiyyət problemi kifayət qədər çətinləşdirir. Bununla birlikdə, Nəqliyyat məsələsi kimi, təyinat problemi, tam ədədə məhdudiyyətinə məhəl qoymadan problemi həll edərkən belə tam həll yolları aldığımız bir xüsusiyyətə malikdir. Bu Simpleks alqoritminin tapşırıq problemlərini həll edə biləcəyi deməkdir. Tapşırıq problemləri o qədər xüsusi quruluşa malikdir ki, onları həll etmək üçün daha sadə alqoritmlər mövcuddur. Bu hissədə Macar metodu adlanan alqoritmlərdən birini təsvir edəcəyik. Alqoritmin adını əvvəlcə alqoritmi kəşf edən iki Macar riyaziyyatçıların şərəfinə vermişdirlər.

Alqoritmi bir nümunə ilə izah edək. Aşağıdakı matrisdə verilən xərclərlə təyinat problemini nəzərdən keçirək.

Cədvəl 2: Xərc matrisi Macar üsulu - Addım 1

	1	2	3	4
A	10	7	8	2
B	1	5	6	3
C	2	10	3	9
D	4	3	2	3

Mənbə: The Hungarıan Method for the Assıgnment Problem, wıth Generalızed Interval Arıthmetıc and its Applıcatıons(D. Priya və G. Ramesh, 2019)

Bu matrisdə dörd nəfərlə (A, B, C və D ilə işarələnmiş) və dörd işlə (1, 2, 3, 4) bir təyinat problemini təsvir edilmişdir. Birinci şəxsin ilk işə təyin edildiyi təqdirdə 10 xərci var; ikinci işə təyin edildiyi təqdirdə 7; və s. Məqsəd insanları ümumi xərcləri minimuma endirəcək şəkildə işlərə təyin etməkdir.

Alqoritm sadə bir müşahidə və qaydadan istifadə edir. Müşahidələr ondan ibarətdir ki, istənilən sətirdən və ya sütundan sabit bir əddəd çıxsanız problemin həlli dəyişməz olaraq qalacaq. Birinci sıranı götürün (A ilə əlaqəli xərclər). Bu rəqəmlərin ən kiçiyi ikidir. A adamını bir işə təyin etməlisiniz, nə olursa olsun ən azı iki vahid xərc ödəməlisiniz. İstəsəniz, bunu birinci şəxsə verilən işə görə sabit bir xərc kimi qiymətləndirin və əlavə xərcləri dəyişkən xərclər kimi düşünün. Buna görə birinci sətirdəki bütün dəyərləi iki vahid azalsa, optimal tapşırığı dəyişilməz qalar (ümumi dəyəri 2-ə endiririk). Bunu etməklə cədvəl aşağadakı formaya gəlir.

Cədvəl 3: Xərc matrisi Macar üsulu - Addım 2

	1	2	3	4
A	8	5	6	0
B	1	5	6	3
C	2	10	3	9
D	4	3	2	3

Mənbə: The Hungarıan Method for the Assıgnment Problem, wıth Generalızed Interval Arıthmetıc and its Applıcatıons(D. Priya və G. Ramesh, 2019)

Yenə də ikinci cədvəldə təsvir olunan problemin həlli ilk məsələnin həlli ilə tamamilə eynidır. Bu şəkildə davam edərkən digər üç nəfər (sıra) üçün "sabit xərcləri" çıxara bilərik ki, hər sətirdə ən azı bir sıfır olacağına zəmanət verilsin. Beləliklə:

Cədvəl 4: Xərc matrisi Macar üsulu - Addım 3

	1	2	3	4
A	8	4	6	0
B	0	3	5	2
C	0	7	1	7
D	2	0	0	1

Mənbə: The Hungarıan Method for the Assıgnment Problem, wıth Generalızed Interval Arıthmetıc and its Applıcatıons(D. Priya və G. Ramesh, 2019)

Hələ bu müşahidədən istifadə etməmişik. Sabiti istənilən sətirdən çıxara bildiyimiz kimi, istənilən sütundan da sabit çıxmaq mümkündür. İkinci sütunu götürək. İkinci işə kimin təyin olunmasından asılı olmayaraq, ən azı 1 vahid xərc tələb edəcəyini söyləyir. 1 vahidi sabit bir xərc kimi qiymətləndirək və çıxma əməliyyatı edək. Bu həll yoluna təsir etmir (həll dəyərini dəyişsə də) Bu çıxman əməliyyatını tamamladıqdan sonra əldə edəcəyik:

Cədvəl 5: Xərc matrisi Macar üsulu - Addım 4

	1	2	3	4
A	8	4	6	0
B	0	3	5	2
C	0	7	1	7
D	2	0	0	1

Mənbə: The Hungarıan Method for the Assıgnment Problem, wıth Generalızed Interval Arıthmetıc and its Applıcatıons(D. Priya və G. Ramesh, 2019)

İndi müşahidədən istifadə edək. Son cədvəl orijinaldan daha sadədir. Hər sətirdə və hər sütunda sıfır dəyəri var. Bütün dəyərlər mənfi deyil. Ümumi dəyəri minimuma endirən bir tapşırıq tapmaq istənildiyi üçün əlaqədar xərc sıfır olduqda yalnız insanları işlərə təyin etməyimiz məqsədəuyğundu. Bunu nəzərə alaq: Hesablamanın məqsədi cədvəli orijinal problemlə bərabər (eyni həlli olan) və sıfır xərc tapşırığı ilə yazmaqdır. Hər sətirdə və hər sütunda ən azı bir sıfır olması üçün xərcləri azaltmaq üçün lazımı addım artıq qeyd edildi. Lakin nümunə bunun kifayət olmadığını göstərir. Cədvəli diqqətlə incələdikdə, bunun mümkün olmadığını görərsiniz. Bir sıfır xərc yanaşması ilə həll etmək istəsəniz, A işçisinə - 4 (A sətrindəki yeganə sıfır - 4 sütundadır) və B işçisini 1 - i təyin etmək lazımdır. Ancaq C işçisində 0 dəyəri 1-ci işi təyin etməklə mümkündür. Bunu edə bilmərik, çünki artıq B-yə 1-i təyin etmişik, əgər indiyə qədər izləmisinizsə, növbəti ən yaxşı variantı etməliyik. Bu səbəbdən C işçisinə iş 3 (1-ə görə) və sonra D işçisinə 2 təyin edilir. Bu problemin həllini verir (A - 4; B - 1; C - 3; D - 2). Ancaq bu bir alqoritm deyil. Son tapşırıqları təxmin edərək verdik. (Bunun həlli olduğuna əmin olmalıyıq. Problemi sıfır dəyərində həll etməyin mümkün olmadığını göstərdik, sonra problemi növbəti ən yaxşı xərclə həll etmək mümkün olduğunu göstərdik.)

Qeyd etdiklərimizi bir alqoritmə çevirmək üçün ümüumilişdirmə aparmaq lazımdır. Hər sətirdən bir sabit çıxardıqda, hər sətrin ən kiçik elementini 0 etmək üçün etdik. İndi isə problemin mahiyyətini dəyişdirmədən yeni ucuz tapşırıqlar yaratmağa davam etmək. Qayda cədvəldəki sıfırları aradan qaldırmaq və sonra qalan dəyərləri azaltmağa çalışmaqdır. Burada keçmiş cədvəli təkrar qeyd edək:

Cədvəl 6: Xərc matrisi Macar üsulu - Addım 5

	1	2	3	4
A	8	4	6	0
B	0	3	5	2
C	0	7	1	7
D	2	0	0	1

Mənbə: The Hungarıan Method for the Assıgnment Problem, wıth Generalızed Interval Arıthmetıc and its Applıcatıons(D. Priya və G. Ramesh, 2019)

Elə iki sətir və bir sütunu seçək ki,sıfırların hamısını seçilmiş sütun və sətirlərdə olsun. İndi seçilməmiş xanalara baxın və ən kiçik dəyəri tapın (1). Bütün matrisdəki hər xanada 1-i çıxarsaydıq, onda əsas problemi dəyişməz saxlayardıq (yəni optimal tapşırığı dəyişdirilməzdi) və yeni ucuz qiymətli bir yol tapa bilərik (C işçisi ilə 3 arasında). Digər tərəfdən bəzi dəyərlər (az əvvəl seçilmiş sütun və sətirlərdəki) mənfi hala gələcəkdir. Bu bir az çətinlik yaradır, çünki mənfi dəyərlər varsa, sıfır qiymətli bir tapşırığın həqiqətən xərcləri minimuma endirəcəyinə zəmanət verilmir. Beləliklə, seçilmiş sütun və sətirlərdəki hər dəyərə çıxardığınız eyni sabit (1) əlavə edərək prosesi geri çevirin. Aşağadakı bu xərclər matrisini yaranır:

Cədvəl 7: Xərc matrisi Macar üsulu - Addım 6

	1	2	3	4
A	9	4	6	0
B	0	2	4	1
C	0	6	0	6
D	3	0	0	1

Mənbə: The Hungarıan Method for the Assıgnment Problem, wıth Generalızed Interval Arıthmetıc and its Applıcatıons(D. Priya və G. Ramesh, 2019)

Bu cədvəldə önəmli məsələ yenə də mənfi dəyərlərin olmamasıdır. Bu matrisdən istifadə edərək başqa bir minimum xərc tapşırığı etmək mümkün olduğu ortaya çıxdı. Əslində bu cədvəldən istifadə edərək sıfır dəyəri olan optimal tapşırıq verə bilərik. Məntiqə uyğun olaraq (A - 4; B - 1; C - 3; D - 2). Ümumi xərcin nə olduğunu bilmək üçün orijinal xərclər matrisinə qayıda bilərsiniz: 9 = 2 +1 + 3 + 3. Mexanik olaraq:

1. Hər sətirdə bir sıfır saxlamaq üçün hər bir sıfırdan minimum ədədi çıxaq.

2. Hər bir sütunda bir sıfır element saxlamaq üçün hər sütundan minimum ədədi çıxaq.

3. Cədvəldəki bütün sıfırlarıdan keçə biləcək minimum sətir və sətir sayını tapın. Və onları seçin.

4. Seçilməyən bütün dəyərlərin minimumunu tapın (müsbət olmalıdır). Minimum sıfırdırsa, deməli kifayət qədər dəyərin seçilməyib. Bütün dəyərlərin üstündən xətt çəkilirsə, onda sıfır xərc tapşırığı həll edilmişdir.

5. 4-cü mərhələdə tapdığınız rəqəmi seçilməmiş bütün dəyərlərdən çıxarın. Bir istiqamətli seçilmiş xanadakı dəyərlər dəyişdirilmir. Iki istiqamətli seçilmiş dəyərlərə ədədi əlavə edin.

6. Addım 1-ə qayıdın.

İlk iki addım sadədir. Problemi daha şəffaf edir. Üçüncü və dördüncü addımlar ilk iki addımın ümumi versiyalarıdır. Bu addımlarda edilən həll yolu dəyişmədən xərcləri yenidən bölüşdürməkdir.

Addım 3 də diqqətli olmaq lazımdı. Minimum sətir sayından istifadə edərək cədvəldəki bütün sıfırları seçməyiniz gərəkdir. Bunu ən çox sıfır olan sətir və ya sütunu taparaq etməyinizi məsləhətdir. Sonra, seçilməmiş ən çox sıfır olan sətir və ya sütun seçilir. (Bunu etmək üçün birdən çox yol ola bilər.) Bitənə qədər davam edilməldiir.

Addım 5-də iki proses icra edilir. Əvvəlcə, cədvəlin hər elementindən Adım 4-də tapdığınız rəqəmi çıxardırsınız. Bildiyiniz kimi, bu həll yolu dəyişdirmir. Bununla birlikdə, mənfi rəqəmlər yaradır. Beləliklə, xərclər cədvəlindəki mənfiliyi bərpa etmək üçün bir addım atılmalıdır (əks halda problemi həll etmək üçün sıfır qiymətli tapşırıq tapmaq istədiyiniz qaydanı tətbiq edilmir). Bunu bir xətt çəkdiyiniz hər sətirə və ya sütuna sabiti geri əlavə edərək təmin etmək olar. Hər şey bitdikdən sonra

5-ci Adımdakı xassələri təmin edən bir cədvəl yaranır. Seçilməmiş bütün dəyərlər aşağı enir; bir istiqamətli seçilən dəyərlər eyni qalır (aşağı enib sonra eyni miqdarda qalxdığı üçün); ikiistiqamətli seçilənlər (heç birinin üçistiqamətli olmur) yuxarı qalxır (aşağı enirlər, amma sonra iki dəfə toplama ilə qalxırlar).

Sıfır qiymətli bir tapşırıq tapa biləcəyiniz bir mərhələyə çatdıqda artıq proses bitmiş olur. Bunu etmək üçün ümumi bir prosedur təqdim olunub. Hər hansı bir sətir və ya sütunun içərisində tam bir sıfır olub-olmadığını müşahidə etmək lazımdı. Mövcuddursa həmin xanaya uyğun tapşırıq daxil edilməlidir. Bunu etdikdən sonra, müvafiq sətir və sütun seçilir və qalan (daha kiçik) problem həll edilir. Hər sətir və sütunda ən azı iki sıfır varsa, ixtiyari bir sətir və sütundan istifadə edərək (sıfır xanası ilə) bir tapşırıq verərək və prosesi davam etdirmək olar. Əsas məğz odur ki, hər addım atdıqca tapşırığın qiyməti aşağı düşmüş olsun.

Böyük miqyaslı yüksək indeksli nəqliyyat problemlərinin həlli hazırda böyük çətinliklərdən biridir, qrafiki üsullar bu problemlərinin həlli üçün yaxşı bir üsuldur. Ancaq bu yanaşma xüsusi şərtlərin keçərli olmadığı zaman uğursuz ola bilər. Kombinatorial həll nəzəriyyəsi bu qüsuru müəyyən qədər aradan qaldıra bilər. Bu hissədə Macar metodu üçün bir sıra tətbiqlər göstərərək və bir sıra təcrübələr apararaq bərabərsizlik və bərabərlik halında matrisə uyğun olaraq problemin həll yollarını müqayisə etdik. Ancaq bəzi hallarda daha mürəkkəb problemlər barədə düşünməliyik, bu səbəbdən hansı metodun istifadə olunacağı yer və zaman üçün tələb olunan problemlərdən asılıdır. Növbəti hissələrdə digər metodları da nəzərdən keçirib çatışmayan cəhətlərini qeyd etmək mümkündür. Macar üsulunun ən üstün tərəflərindən biri onun rahatlıqla mənimsənilməsi və həll sürətinin o qədər də yuxarı olmamasıdır. Macar üsulu çox geniş tətbiq sahələrinə malikdir. Bunlardan ən önəmliləri aşağadakılardır.

- Zavodda tapşırıqların müxtəlif təyinatlı avadanlıqlar arasında bölüşdürülməsi
- Satış və marketinq komandalarının müvafiq təyinat ərazilərində bölüşdürülməsi

- Universitet və orta təhsil müəsisələrində müəllimlərin müxtəlif siniflər arasında bölgüsü
- Qiymətli kağızlar bazarında alıcı və satıcıların müvafiq tələblərə uyğun olaraq bölüşdürülməsi

2.2. Şimal-Qərb üsulu ilə optimal nəqliyyat bölgüsünün tətbiqi

Şimal-Qərb üsulu optimal marşrut planının tapılmasında geniş tətbiq olunur. Ümumi olaraq bu üsulla optimallaşdırma üçün əsas mərhələlər bunlardır. İlk növbədə qurulmuş matrisin yuxarı sol küncdə yerləşən xanası seçilir və bu xanada tələb və təklif qeyd edilir. Nümunə üçün bu xanda tələb d_1, təklif s_1fərz edək. d_1və $s_1$müqayisə olunur və bu iki dəyər arasında kiçik olan seçilir.

$$nw = min(s_1, d_1)$$

Növbəti mərhələdə qeyd olunmuş nw dəyərini xananın aid olduğu sətirdəki tələb və təklifdən çıxırıq. Əgər təklifin 0 olduğu sətirlər varsa həmin sətirlərin üzərndən xətt çəkilir. Eyni qaydada əgər təklif 0 olarsa həmin sütunun da üzərindən xətt çəkmək lazımdır. Əgər təklif və tələb hər ikisi 0 olarsa onda hər ikisinin üzərindən xətt çəkərək dioqanal istiqamətində növbəti nw (north west – Şimal-Qərb) xanası seçilir. Bütün tələb və təklif dəyərləri 0 olana qədər bu qeyd olunmuş addımlar təkrarlanmalıdır.

Yükdaşıma şirkətinin nümunəsində Şimal-Qərb üsulundan istifadə edərək optimal bölgü müəyyən edək.

Cədvəl 8: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabərliyi

	D1	D2	D3	D4	Təklif
S1	19	30	50	10	7
S2	70	30	40	60	9
S3	40	8	70	20	18
Tələb	5	8	7	14	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanıb

Matrisdən göründüyü kimi cəmilikdə 3 təklif və 4 tələb məhdudiyyətimiz var. Şimal-Qərb küncdəki xanaya baxsaq burda D1 və S1 dəyərləri müvafiq olaraq 5 və 7 dir. Bu iki dəyər arasında minimumu tapsaq tələbin aşağa olduğunu görərik. *Min(D1, S1) = 5 (D1)*

Bu xanadakı Təklif tələbi 7-5 = 2 vahid üstələyir. Yəni tamamilə bu daşıma həyata keçirilib 2 vahid əlavə resurs digər daşımalara sərf edilə bilər. Bu qeyd etdiklərimizi nəzərə aldıqdan sonra cədvəldə D1-in tələbi 0-a bərabər olmuş olur və qaydaya görə tələbi 0 olan sütun müvafiq olaraq növbəti hesablama mərhələlərində matrisdən çıxarılmalıdır.

Cədvəl 9: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabərliyi - Addım 2

	D1	D2	D3	D4	Təklif
S1	**19(5)**	30	50	10	2
S2	**70**	30	40	60	9
S3	**40**	8	70	20	18
Tələb	**0**	8	7	14	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Artıq yeni şimal-qərb küncü D2 və S1 dəyərlərinin kəsişdiyi xanaya keçmiş olur. S1=2 və D2=8 dəyərləri müqayisə olunduqda S1 dəyərinin minimum olduğu aydın olur. *min(S1, D2) = 2, S1*. Burdan alınan nəticə belədir ki, S1 təklifi tamamilə D2 tələbinə yönləndirildiyi üçün 0-a çevriləcəkdir. D2 tələbi növbəti mərhələlərdə digər təkliflərdən də istifadə olunaraq tam qarşılanmalıdır.

Artıq matris bir qədər də fərqli forma almış olur

Cədvəl 10: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabərliyi – Addım 3

	D1	D2	D3	D4	Təklif
S1	**19(5)**	**30(2)**	**50**	**10**	**0**
S2	**70**	30	40	60	9
S3	**40**	8	70	20	18
Tələb	**0**	6	7	14	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanıb

Növbəti mərhələdə matris yeniləndiyi üçün şimal-qərb künc dəyəri S2 və D2-nin kəsişməsində yerləşəcəkdir. Bu iki dəyər arasında minimumu D2 də yerləşən 6 dəyəridir. *min(D2, S2) = 6, (D2)*

Eyni prinsiplə S2 də 9-6 = 3 təklif artıqlığı yaranacaqdır. D2 tələbi isə tamamən qarşılanmış olacaqdır. Bu mərhələdən sonra cədvəl artıq bir az da sadələşmiş olacaqdır. Göründüyü kimi baxmalı olunan matris 2x2 ölçüsünə düşmüş oldu.

Cədvəl 11: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabərliyi – Addım 4

	D1	D2	D3	D4	Təklif
S1	**19(5)**	**30(2)**	**50**	**10**	**0**
S2	**70**	**30(6)**	40	60	3
S3	**40**	**8**	70	20	18
Tələb	**0**	**0**	7	14	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Yeni şimal-qərb küncü S2 və D3-ün kəsişməsində yerləşən xanadır. Bu iki dəyərin minimumu isə S2 dəyəri olacaqdır ki, öncədən qalmış bu təklif bütövlükdə D3 tələbinə yönləndiriləcək və D3 tələbində qarşıanmamış 4 vahid tələb qalacaqdır. Matrisdə yenidən 0 yaranmış Təklifin yerləşdiyi sətir çıxarıldıqdan sonra aşağadakı forma almış olacaqdır.

Cədvəl 12: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabərliyi – Addım 5

	D1	D2	D3	D4	Təklif
S1	19**(5)**	30**(2)**	50	10	0
S2	70	30**(6)**	40**(3)**	60	0
S3	40	8	70	20	18
Tələb	0	0	4	14	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Matrisdə artıq Şimal-Qərb küncü D3 və S3 dəyərlərində yerləşən xanaya enmiş olacaqdır. Bu iki dəyəri müqayisə etsək *min(D3, S3) = 4, (D3)* almış olarıq. Bu da D3 tələbinin tam qarşılanacağının və S3 təklifinin 18-4 = 14 təklif artığının yaranacağını göstərir. Bütün bunlardan sonra Matris aşağadakı formaya gəlmiş olur.

Cədvəl 13: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabərliyi – Addım 6

	D1	D2	D3	D4	Təklif
S1	**19(5)**	**30(2)**	**50**	**10**	**0**
S2	**70**	**30(6)**	**40(3)**	**60**	**0**
S3	**40**	**8**	**70(4)**	20	14
Tələb	**0**	**0**	**0**	14	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Cədvəldən də aydın olduğu kimi artıq sona qalmış mövcud tələb və mövcud Təklif bir birlərini tam qarşılayır. Və məsələ artıq həll olmuş hesab edilir. Növbəti mərhələ artıq bu daşınmanın cəmi xərclərinin hesablanmasıdır. Bunun üçün hər xanadakı qiymət və daşınma həcmini bir-birinə vurmaq lazımdır.

Cəmi daşıma xərci $=19\times5+30\times2+30\times6+40\times3+70\times4+20\times14=1015$

Şimal-Qərb üsulu - Tələb Təklifin Balansının pozulduğu hallar. Əgər Matrisdə Cəmi Tələb və Cəmi Təklif bir əvvəlki nümunədə olduğu kimi bir-birinə bərabər olmazsa o zaman iki fərqli hal ortaya çıxmış olur. Tələbin təklifi üstələdiyi hallar və təklifin tələbi üstələdiyi hallar. Əgər matrisdə tələb təklifdən çox olarsa matrisə nəqliyyat xərclərinin 0 olduğu yeni bir sətir əlavə edirik. Əgər Təklif tələbi üstələyərsə o zaman matrisə nəqliyyat xərclərinin 0 olduğu bir sütun əlavə edilməlidir. Bu problemin olduğu növbəti nümunə matrisi aşağada verilmişdir.

Cədvəl 14: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabərsizliyi -Addım 1

	D1	D2	D3	Təklif
S1	4	8	8	76
S2	16	24	16	82
S3	8	16	24	77
Tələb	72	102	41	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Matrisdən də göründüyü kimi Tələb məhdudiyyəti 3 və Təklif məhdudiyyəti də 3-dür. Digər tərəfən Cəmi Tələbin 215, cəmi Təklifinsə 235 olduğunu görmək mümkündür. Qeyd edildiyi kimi matrisə Təklifin artıqlığını nəzərə almaq üçün əlavə bir sütun artırılır.

Cədvəl 15: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabər olmadıqda -Addım 2

	D1	D2	D3	Ddummy	Təklif
S1	4	8	8	0	76
S2	16	24	16	0	82
S3	8	16	24	0	77
Tələb	72	102	41	20	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Künc dəyərinin D1 və S1 kəsişməsində yerləşdiyini və onların minimumunun min(D1, S1) = 72, (D1) olduğu aydındır. S1 təklifi D1 tələbini tam qarşılamaqla yanaşı 4 vahid əlavə təklif artıqlığı yaradır. D1 artıq 0-a endiyi üçün matrisin yeni forması aşağadakı şəkildə olur.

Cədvəl 16: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabər olmadıqda -Addım 3

	D1	D2	D3	Ddummy	Təklif
S1	**4(72)**	8	8	0	4
S2	**16**	24	16	0	82
S3	**8**	16	24	0	77
Tələb	**0**	102	41	20	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Künc xanası artıq D2 və S1-in kəsişməsində yerləşir və onların minimumu S1-dir(4). Artıq S1 təklifi tam şəkildə D2 üçün istifadə edilməlidir, D2 tələbini qarşılamaqçün növbəti mərhələdə Digər təklifdən də istifadə olunmalıdır. D2 tələbinin əlavə olaraq 102-4 = 98 tələbi ödənilməmiş olaraq qalır.

Cədvəl 17: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabər olmadıqda -Addım 4

	D1	D2	D3	Ddummy	Təklif
S1	4**(72)**	8**(4)**	8	0	0
S2	16	24	16	0	82
S3	8	16	24	0	77
Tələb	0	98	41	20	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Yeni şimal-qərb küncünün mövqeyi artıq bir qədər aşağa sürüşmüşdür. Yeni künc D2 və S2 -nin kəsişməsində yerləşir. Onların arasında minimumu S2 təklifidir. *Min(S2, D2) = 84, S2* Beləliklə D2 tələbini qarşılamaq üçün əlavə təklifə ehtiyac olacaqdır. Çünki S2 təklifi D2 tələbinin yanlız 84 vahidini qarşılaryı və yerdə 16 vahid ödənilməmiş təklif qalır. Məsələ artıq bir qədər də sadələşir.

Cədvəl 18: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabər olmadıqda -Addım 5

	D1	D2	D3	Ddummy	Təklif
S1	4**(72)**	8**(4)**	8	0	0
S2	16	24**(82)**	16	0	0
S3	8	16	24	0	77
Tələb	0	16	41	20	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Yeni künc dəyəri S3=77 və D2=16 şəklindədir. Bu iki dəyərin minimumu D2 tələbi təşkil edir. Beləliklə D2 tələbi artıq tam şəkildə ödənilmiş olur. Bundan əlavə olaraq S3 təklifinin növbəti mərhələ üçün əlavə 77-16 = 61 təklifi mövcuddur. Son prosedurdan sonra matrisin həll olunmuş hissələri aşağadakı formaya gəlir.

Cədvəl 19: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabər olmadıqda -Addım 6

	D1	D2	D3	Ddummy	Təklif
S1	4**(72)**	8**(4)**	8	0	0
S2	16	24**(82)**	16	0	0
S3	8	16**(16)**	24	0	61
Tələb	0	0	41	20	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Sona sadəcə ödənilməmiş 41 vahid D3 tələbi və S3-dən qalan 61 təklif qalır. Bu dəyərlərin kiçiyi 41 olduğuna görə Təklifin 41 vahidi D3 tələbini qarşılamaq üçün yönləndirilir. Beləliklə artıq bütün tələb məntəqələrinin ehtiyacları qarşılanmışdır. Əlavə olaraq 61-41 = 20 Təklif artıqlığı yaranır. Məsələnin həlli qaydalarına görə əlavə olunmüş sütuna bu təklif yazılır və həmin hissə də matrisdən çıxarılmış olur. Son nəticədə cədvəl aşağadakı formanı almış olur.

Cədvəl 20: Şimal-Qərb üsulu tələb təklif bərabər olmadıqda -Addım 7

	D1	D2	D3	Ddummy	Təklif
S1	4 **(72)**	8 **(4)**	8	0	76
S2	16	24 **(82)**	16	0	82
S3	8	16 **(16)**	24 **(41)**	0 **(20)**	77
Tələb	72	102	41	20	

Mənbə: Dantzig(1954) əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Bu nəqliyyat planını cəmi xərcləri üçünsə matrisin içərisində olan xərcləri əlavə olunmüş vahidlərə vurub toplamaq lazımdır. Beləliklə cəmi xərc aşağadakı şəkildə hesablanır.

$$Minimum\ daşıma\ xərci = 4\times72+8\times4+24\times82+16\times16+24\times41+0\times20=3528$$

Diqqət yetirsək təklif artıqlığı olan 20 vahid 0 qiymətinə vurulmuşdur ki bu da normal hal kimi qəbul edilməlidir.

Ümumilikdə şimal-qərb bucağı üsulu (bəzi ədəbiyyatlarda yuxarı künc üsulu) çox sasdə olması ilə seçilir. Bu üsulun digər üstünlüyü həll sürətinin yuxarı olmasıdır. Bir sıra mühüm problemlərdə bu üsulun tətbiqləri vardır. Ümumi olaraq bu üsulla optimallaşdırma üçün əsas mərhələlər bayaq da qeyd edildiyi kimi bunlardır.

- İlk növbədə qurulmuş matrisin yuxarı sol küncdə yerləşən xanası seçilir və bu xanada tələb və təklif qeyd edilir
- Daha sonra bu iki dəyər arasında kiçik olan seçilir
- Növbəti mərhələdə qeyd olunmuş minimum dəyərini xananın aid olduğu sətirdəki tələb və təklifdən çıxırıq
- Əgər təklifin 0 olduğu sətirlər varsa həmin sətirlərin üzərndən xətt çəkilir
- Proses cədvəlin aşağa sağ küncünə çatana qədər davam etdirilir

2.3.Taxta tədarükündə daşımaların optimal nəqliyyat bölgüsü

Bu bölmədə Hillier və Liebermanın Əməliyyatlar Tədqiqinə giriş (2014) kitabındakı oxşar problemdən ilhamlanan bir nümunə verilib. Bir taxta şirkəti üç taxta mənbəyinə və taxtanın tələb olunduğu beş bazara sahibdir. Üç tədarük mənbəyindəki illik taxta miqdarı sırayla 15, 20 və 15 milyon kubdur. Beş bazarda satıla bilən məbləğ isə müvafiq olaraq 11, 12, 9, 10 və 8 milyon kubdur. Hazırda şirkət bütün taxtaları qatarla nəql edir. Şirkət Daşınma sxemini qiymətləndirmək, uyğun olarasa nəqliyyatın bir hissəsini və ya hamısını gəmilərə keçirmək istəyir. Göndərmə vahidi dəyəri (hər iki metoddan istifadə edilərək müxtəlif marşrutlar boyunca 10.000 dollar) aşağıdakı cədvəldə təsvir edilmişdir. Dəmiryol nəqliyyatında qiymətlər:

Cədvəl 21: Təchizatçıların müvafiq bazarlara daşıma xərci(Dəmiryol nəqliyyatı)

Təchizat	Bazar 1	Bazar 2	Bazar 3	Bazar 4	Bazar 5
A	51	62	35	45	56
B	59	68	50	39	46
C	49	56	53	51	37

Mənbə: Hillier və Lieberman (Introduction to Operations Research, 2014) istifadə edərək müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Gəmi Nəqliyyatında qiymətlər (“yoxdur” – bu istiqamətdə gəmi nəqliyyatı ilə mümkün olmayan marşrutları nəzərdə tutur):

Cədvəl 22: Təchizatçıların müvafiq bazarlara daşıma xərci(Gəmi nəqliyyatı)

Təchizat	Bazar 1	Bazar 2	Bazar 3	Bazar 4	Bazar 5
A	48	68	48	yoxdur	54
B	66	75	55	49	57
C	yoxdur	61	64	59	50

Mənbə: Hillier və Lieberman (Introduction to Operations Research, 2014) istifadə edərək müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Problemi nəzərdən keçirdikdən sonra əsas sualları çıxartmaq olar. Ən önəmlisi Dəmir yolu nəqliyyatına nə dərəcədə etibar ediləcəyinə qərar verilməlidir. Aşağıdakı variantları qiymətləndirib və riyazi cəhətdən tövsiyyə olunan həllər çıxartmaq olar.

1. Yalnız dəmir yolu nəqliyyatından istifadə xərci nə qədərdir?

2. Yanlız Gəmilərin istifadəsi xərci nə qədərdir?

3. Hər marşrutda mövcud olan ən ucuz nəqliyyat növündən istifadə etmək xərci nə qədərdir?

4. Fərz edək ki, hər hansı bir gəminin istismarı üçün illik 100.000 AZN xərclənir (lakin bu xərc açıq saxlanılan göndərmə xətlərinin sayına görə dəyişmir) Optimal nəqliyyat planı nədir?

5. B-dəki tədarükün və bazar 3-də tələbin hər ikisinin 10 milyon kub artacağı məsələnin həllinə necə təsir edər?

Problemi təsvir edən bir cədvəl artıq Mövcuddur. Elektron cədvəldə üç qiymət cədvəli hazırlayaq. Biri qatar nəqliyyatı xərclərini əks etdirir; ikinci gəmi nəqliyyatı; üçüncüsü minimum. Göndərilmənin mümkün olmadığı marşrutlar nəzərə alınmalıdır.

İlk olaraq problemi dəmir yolu nəqliyyatından istifadə edərək məsələni həll edib aşağadakı cədvəli əldə edirik.

Cədvəl 23: Dəmiryolu Nəqliyyatı ilə daşınma ssenarisi

Təchizat	Bazar 1	Bazar 2	Bazar 3	Bazar 4	Bazar 5
A	6	0	9	0	0
B	2	0	0	10	8
C	3	12	0	0	0

Mənbə: Hillier və Lieberman (Introduction to Operations Research, 2014) istifadə edərək müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Bu nəqliyyat planının dəyəri 2316-dır (qatarların əvəzinə tamamilə gəmilər istifadə olunarsa bu daşıma cədvəlinin dəyərini də hesablasaq, bu xərc 5530 edər; hər marşrutda minimum xərc metodundan istifadə etməklə bu göndərmə planının xərci 2298-dir). Burda nəqliyyat qiymətinin xərc dəyərinin dəmir yolunun xərc dəyərindən çox olması önəmli məsələdir. Minimum xərc dəyəri üsulu ayrılıqda iki nəqliyyat növündən daha aşağı (və ya bərabər) olmalıdır. Qəti olaraq gəmilərin istifadəsi qatarlardan daha ucuzdur.

Sonra problemi yalnız gəmi nəqliyyatından istifadə edərək həll edirik. (Sadəcə orijinal cədvəldə hədəf funksiyasını qatar dəyərindən gəmi dəyərinə dəyişdirmək kifayətdir.) Bu həll yolu aşağadakı nəticəni çıxartmış olur.

Cədvəl 24: Yanlız gəmi nəqliyyatı ilə daşıma ssenarisi

Təchizat	Bazar 1	Bazar 2	Bazar 3	Bazar 4	Bazar 5
A	11	0	4	0	0
B	0	0	5	10	5
C	0	12	0	0	3

Mənbə: Hillier və Lieberman (Introduction to Operations Research, 2014) istifadə edərək müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Bu planın dəyəri (gəmilərdən istifadə etməklə) 2654-dür. Qatarlardan istifadə 2354, minimum xərc metodundan istifadə edərək 2321 olar. Daşınma planının gəmilər üçün optimal olmasına baxmayaraq, gəmilərin istifadəsi qatarlara nisbətən daha çox xərclidir (ancaq qatarlardan istifadə edəcəksinizsə, ilk nəqliyyat planını istifadə etmək daha ucuz olardı). Nəhayət, əvvəlki kimi, minimum xərc metodundan istifadə edərsək, daha da aşağı xərcə sahib olacaqsınız.

Bu nöqtədə birinci sualı (2316) və ikinci sualı (2652) cavablandırdıq. Yalnız bir nəqliyyat növündən istifadə etməlisinizsə, keçid etmək sərfəli deyil. Daşımanın seçmə üsulla istifadəsinin sərfəli olduğu qənaətinə gələ bilərik. Üçüncü problemi həll etməyənə qədər nə dərəcədə qazanclı olacağını bilmirik. Aşağadıkı analizlərdə buna baxa bilərik:

Cədvəl 25: Dəmiryolu Nəqliyyatı ilə daşınma ssenarisi(təkrar)

Təchizat	Bazar 1	Bazar 2	Bazar 3	Bazar 4	Bazar 5
A	6	0	9	0	0
B	2	0	0	10	8
C	3	12	2	0	0

Mənbə: Hillier və Lieberman (Introduction to Operations Research, 2014) istifadə edərək müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Bu nəqliyyat planının dəyəri 2298-dir (hamısı qatarla nəql olunurdusa 2316, hamısı gəmi ilə daşınırdısa 5530). Bu cədvəl birincisi ilə eynidir. Bu plan yalnız gəmilərdən və ya yalnız qatarlardan istifadə etməkdən daha ucuzdur. Əslində, gəmilərdən istifadə etmək seçiminin ildə 180.000 dollar (vahidlərin 10.000 dollar olduğunu nəzərə alaraq) olduğuna gələ bilərik. Bir gəmiyə sahib olma xərcinin 180.000 dollardan az olması şərtiylə, minimum xərc planını işlətməyə dəyər. Gəmilər yalnız bir marşrut üçün istifadə olunur: A-dan 1-ə qədər.

Son sual, B-dəki təklifin 30 (20 əvəzinə), 3-dəki tələbin 19 (9 əvəzinə) olduğu yanaşması ilə problemin yenidən formalaşdırılması tələb olunur. Problemi yenidən həll edib və yalnız bu marşrutlardan istifadə edən qatarlar üçün 2774 qiymətini alırıq:

Cədvəl 26: B təchizatçısının təklifinin dəyişməsi ssenarisi

Təchizat	Bazar 1	Bazar 2	Bazar 3	Bazar 4	Bazar 5
A	0	0	15	0	0
B	8	0	4	10	8
C	3	12	0	0	0

Mənbə: Hillier və Lieberman (Introduction to Operations Research, 2014) istifadə edərək müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Problemin əsası dəyişmiş oldu (A-dan 1-ə marşrutunu istifadə etmək artıq sərfəli deyil). Yalnız gəmilərdən istifadə etməklə isə planın dəyəri 3202-yə bərabərdir:

Cədvəl 27: Yenilənmiş ssenari cədvəli (yanlız gəmi nəqliyyatı)

Təchizat	Bazar 1	Bazar 2	Bazar 3	Bazar 4	Bazar 5
A	11	0	4	0	0
B	0	0	15	10	5
C	0	12	0	0	3

Mənbə: Hillier və Lieberman (Introduction to Operations Research, 2014) istifadə edərək müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Bu nəqliyyat planı ilə gəmilərdən istifadə edərək problemin orijinal həlli arasındakı yeganə fərq ondan artıq vahidin B-dən 3-ə göndərilməsidir. Xərc 550-ə yüksəldi. C-dən 3-ə qədər birbaşa nəqliyyat dəyəri vahid başına 55 olsa da, digər marşrutlardan istifadə etməklə (ən azı bəzi yollar üçün) əlavə tələb daha kiçik bir qiymətə nəql edilə bilər.

Nəhayət, Minimum problemi həll etdikdə bir daha həll yolunun qatar nəqliyyatı probleminin həlli ilə olduğunu görürük. Ancaq indi heç bir gəmi istifadə edilmir. Yəni əlavə tələb yalnız dəmir yolu nəqliyyatından istifadəni optimal seçim etmiş olur.

Yuxarıda qeyd olunan problemlərin biznesdə geniş tətbiqləri mövcuddur. Ən önəmli tətbiqlər içərisində tədarükün doğru bölüşdürülməsi problemi geniş yer alır. Problemin həlli ilə bağlı tədqiqatçıların bir xeyli işləri vardır ki, əksər bizneslərdə bu tədqiqatların nəticələrindən istifadə olunur. Bu üsullarla tədarükün optimallaşdırılması şirkətlərə bir xeyli resursa qənaət etməyə və müştərilərə daha sürətli xidmət etməyə imkan veriri. Bu baxımdan da qeyd olunan praktiki nümunənin bizneslər üçün dəyəri əvəzolunmazdır. Lakin çox təəssüf ki ölkəmizdə bu yöndə bir o qədər də işlər görülmür, optimallaşdırma yönümlü məsələlərə resurs ayrılmır və ənənəvi tədarük sxemasından istifadə olunur. Bu da hər bi şirkət üçün əlavə resurs itkisidir.

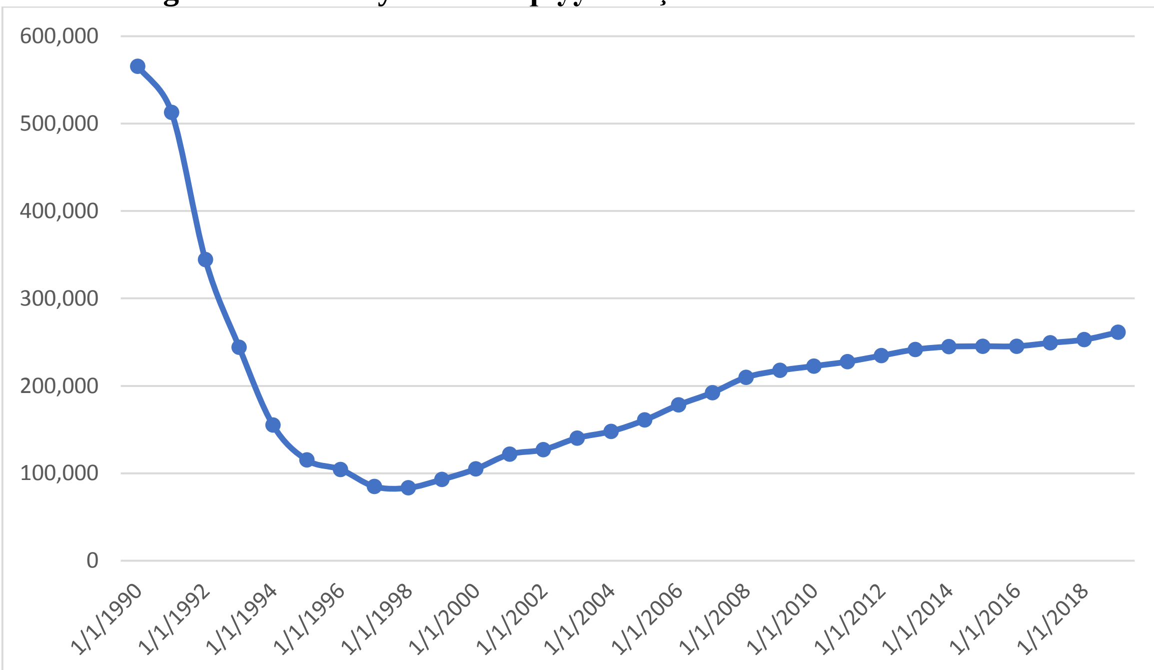
2.4.Azərbaycanda nəqliyyat daşımalarının statistik təhlili və modelləşdirilməsi

Bir çox dövlət və özəl qurumların fəaliyyət prosesi az da olsa nəqliyyat daşımaları ilə müəyyən dərəcədə bağlıdır. Nəqliyyat tələbinin dəqiq proqnozlaşdırılması istər əsas işi daşıma olan logistika şirkətləri üçün istərsə də daşıma tələbləri olan özəl və dövlət qurumları üçün nəqliyyat tapşırıqlarını təşkil etmək, resurs bölgüsünü optimallaşdırmaq və istehsalın əməliyyat xərclərini azaltmaq çox vacib məsələdir. Xüsusilə ümummilli ticarətlə məşğul olan irimiqyaslı nəqliyyat logistika şirkətləri üçün qısamüddətli şəhərlərarası nəqliyyat tələbini dəqiq proqnozlaşdırmaq nəqliyyat planlarının və nəqliyyat vasitələrinin planlaşdırılmasının optimallaşdırılmasına və gəlirliliyin yaxşılaşdırılmasına kömək edə bilər(Zhou and Dai, 2012). Nəqliyyat sahəsinin əsas rolu genişlənməkdəolan tələbin təmin edilməsi eləcə də, ölkə tərəfindən formalaşdırılmaqda olan sosial-iqtisadi inkişaf islahatlarına əsasən uyğunluq prinsipləri ilə bərabər addımlamasıdır. Dəyişən şərtlər nəqliyyat sahəsinin daima irəli addımlaması üçün önəmli istiqamətlərin təyin edilməsini və bu sahənin inkişafı yönündəölkətərəfindən müəyyənləşdirilən əsas vəzifələrin reallaşdırılmasını zəruri edir. Nəqliyyat sisteminin inkişafı vəfəaliyyətinin əsas məqsədi nəqliyyat vasitələri ilə yanaşı ölkəəhalisinin həyat tərzinin və eyni zamanda iqtisadiyyatının yüksəlişini dəstəkləməkdən ibarətdir(“Avtomobil nəqliyyatı haqqında” Azərbaycan Respublikasının Qanunu 01.04.2008).

Yük nəqliyyatına dair tələbin qeyri-müəyyənliyi, təsadüfi xüsusiyyətləri daşımaları proqnozlaşdırılarkən mürəkkəbliyə səbəb olur. Yük nəqliyyatı tələbinin proqnozlaşdırılması metodlarını keyfiyyət və kəmiyyət proqnozu kimi bölmək olar(Zhou və Dai, 2012). Keyfiyyətli proqnozlaşdırma əsasən mütəxəssislərin və ya qərar qəbul edənlərin qanununauyğunluğu öyrənmək və gələcəyə dair mühakimə yürütmək üçün şəxsi təcrübəsindən və subyektiv mühakimə qabiliyyətindən istifadə edir. Bu proqnozlaşdırma metodu sadə, lakin subyektiv və bir tərəflidir. Proqnoz dəqiqliyi də yüksək deyil. Yük nəqliyyatı tələbinin proqnozlaşdırılmasında istifadə olunan keyfiyyətli proqnozlaşdırma metodlarına əsasən fərdi mühakimə, Delphi texnikası və ümumiyyətlə əlavə qərar qəbuletmə vasitələri kimi istifadə olunan subyektiv ehtimal metodu daxildir. Kəmiyyət proqnozlaşdırma metodları tarixi statistik məlumatlar və müvafiq məlumatlar əsasında gələcək inkişafı proqnozlaşdırmaq üçün müxtəlif riyazi modellərdən istifadə edir. Nəqliyyat tələbinin kəmiyyətcə proqnozlaşdırılması üçün geniş istifadə olunan metodlara zaman sıraları analizi, regresiya analizi, nəqliyyat əmsalı metodu, sürət nisbəti metodu və sinir şəbəkəsinin proqnozlaşdırma metodu daxildir. Kəmiyyət proqnozlaşdırma prosesi model seçimi, model hesablanması və nəticənin tənzimlənməsini əhatə edir. İlk addım proqnozlaşdırılacaq obyektin xüsusiyyətlərinə və qərar qəbul etmə məqsədinə uyğun bir model və ya model birləşməsini seçməkdir. İkinci addım məlumatların toplanması və model hesablanmasını həyata keçirməkdir. Üçüncü addım, nəticələrin etibarlılığını və etibarlılığını təhlil etmək və ehtiyac olduqda model tənzimləməsini həyata keçirməkdir. Ədəbiyyatda makro nəqliyyat tələbinin və ya regional uzunmüddətli hərtərəfli nəqliyyat tələbinin proqnozlaşdırılması daha çox öyrənilmişdir. Tək modellərdən daha çox istifadə olunur və bir neçə kombinə edilmiş modellərə də rast gəlinir (Gesine Reinert, 2010). Proqnozlaşdırma nəticələrinin əksəriyyəti göstərir ki, makro və uzunmüddətli yük nəqliyyat tələbatına təsir edən amillər nisbətən aydındır, trendlərdəki meyllər və mövsümilik milli və regional iqtisadi inkişaf meylləri və dövrləri ilə sıx bağlıdır. Bu cür proqnoz bir firmanın və ya şirkətin mikroskopik əməliyyat rəhbərliyini dəstəkləmək üçün yetərli deyil, çünki bir firmanın və ya şirkətin qısa müddətli yükdaşıma tələbi daha qeyri-müəyyən təsir edən amillərdən təsirlənir (Klaus Neusser, 2014).

Azərbaycanda nəqliyyat daşımalarının cari vəziyyəti. Nəqliyyat daşımalarının həcmi Azərbaycanda SSRİ-dən ayrıldıqdan sonra və əvvəl fərqli dinamikaya sahibdir. SSRİ dağıldıqdan sonra eləcə də Dağlıq Qarabağ problemi ilə bağlı Yükdaşımaların həcmi kəskin şəkildə azalmışdır. Post müharibə dövrndən sonrakı dövrlərdə daşımaların həcmi tədricən yuxarı qalxmağa başlamışdır. Aşağadakı qrafikdən bu dinamikanı görə bilərik.

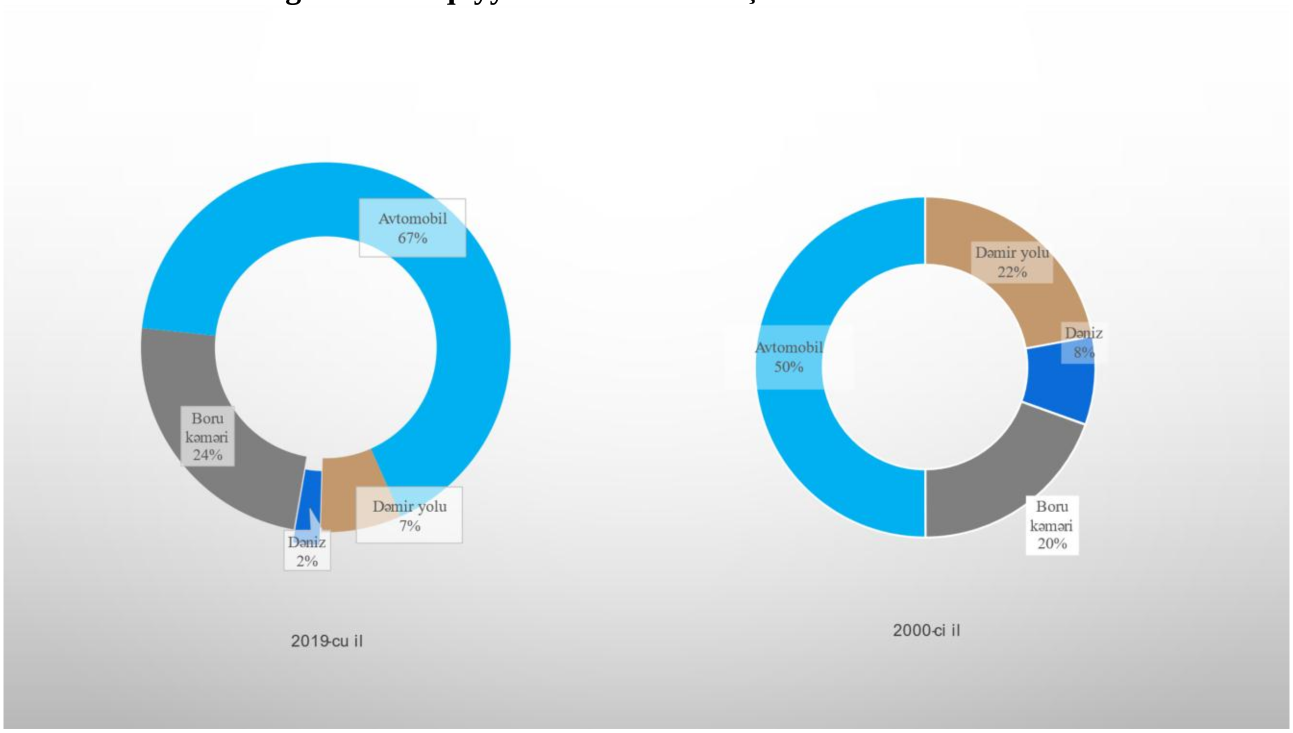
Diagram 1: Azərbaycanda Nəqliyyat daşınmalarının həcm dinamikası



Mənbə:https://www.stat.gov.az/source/transport/ əsasında müəllif tərəfindən hazırlanıb

Ötən 20 illik dövrdə təkcə yükdaşımaların həcmi deyil eləcə də Yükdaşımaların nəqliyyat növlərinə görə bölgüsü də dəyişmişdir. Belə ki 2000- ci ildə daşımaların 50%-ə yaxın bir hissəsini Avtomobil nəqliyyatı təşkil etsə də, sonrakı dövrlərdə bu pay daha da artmışdır. Dəmir yolu ilə daşımaların həcmi 22%-dən 7%-ə dək düşmüşdür. Eləcə də Dəniz nəqliyyatının ümumu daşımalardakı payında son illərdə azalma müşahidə olunur.

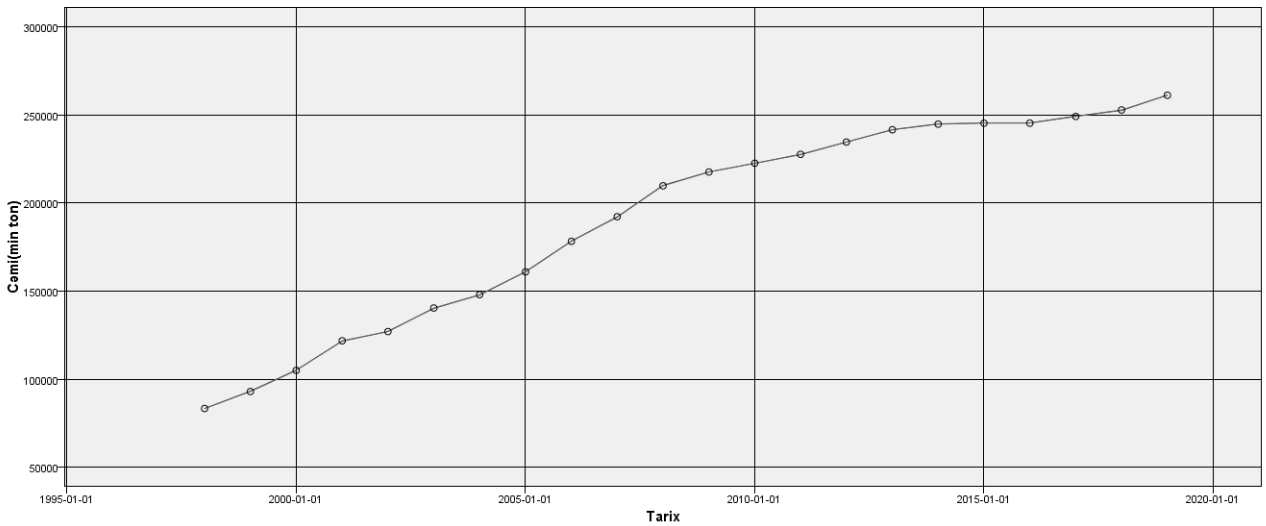
Diagram 2: Nəqliyyat növləri üzrə daşımaların həcm nisbəti



Mənbə:https://www.stat.gov.az/source/transport/ əsasında müəllif tərəfindən hazırlanıb

Azərbaycanda Nəqliyyat Daşımalarının həcminin proqnozlaşdırılması. Nəqliyyatda daşımaların həcmini proqnozlaşdırmaq üçün ilk növbədə Müharibə dövrü və Sovetlər birliyinin dağılması dönəmindəki dalğalanmaları sıradan çıxarılmışdır. Buna görə də 1997-ci ildən sonrakı dövrün Nəqliyyat daşımalarını modellərdə istifadə edilmişdir. Alternativ həll yolu olaraq həmçinin müharibə faktoru modelə daxil edilərək həmin dövrlərdə baş verən dalğalanmalar yeni dəyişən vasitəsi ilə izah edilə bilər. Lakin müharibə davamlı bir proses olmadığı üçün bu dəyişənin əlavə edilməsinə ehtiyac qalmadı. Bundan əlavə məlumatların yetərsizliyi səbəbindən 2020 ci ildə baş vermiş “44 Günlük müharibə” bu modellərdə nəzərə alına bilərdi. Lakin onu da nəzərə almaq lazımdır ki müharibə faktoru təkcə daşımaların azalmasına deyil eləcə də yüksəlməsinə də səbəb ola bilər. Bundan əlavə olaraq 2-ci Dağlıq Qarabağ müharibəsini Azərbaycan qalib olaraq başa vurduğu üçün daşımaların həcm dinamikası 1-ci Dağlıq Qarabağ müharibəsindən sonrakı dövrlə ilə eyni formaya sahib olmayacaqdır

Diagram 3: Dağlıq Qarabağ müharibəsindən sonrakı dövrdə nəqliyyat daşımalarının həcm dinamikası

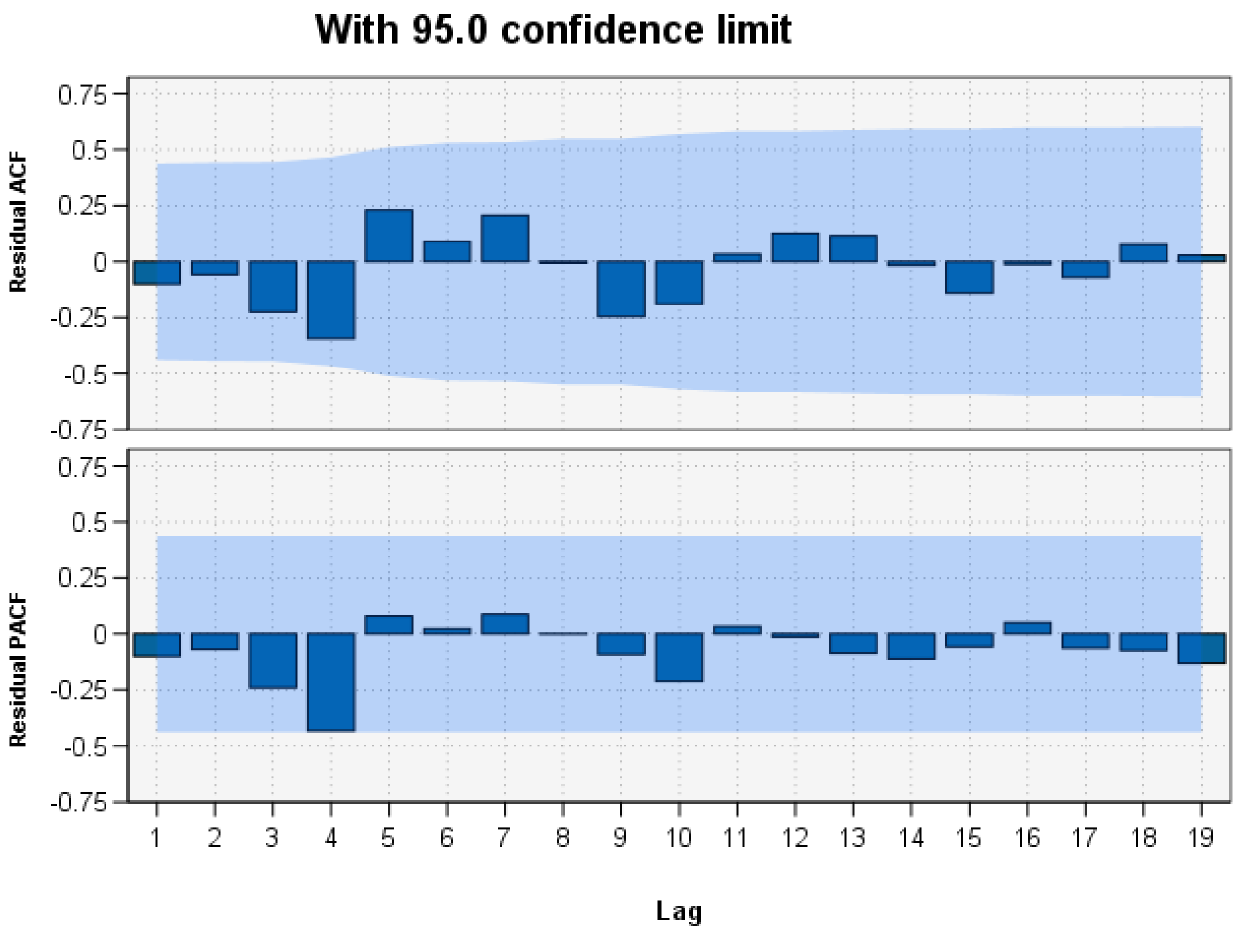


Mənbə:https://www.stat.gov.az/source/transport/ əsasında müəllif tərəfindən hazırlanıb

Zaman sıralarında model qurarkən ən önəmli mərhələlərdən biri də Stasionarlığın yoxlanılmasıdır. Əgər sıra qeyri-stasionar sıradırsa sıranın elementlərindən bir əvvəlki elementi çıxmaqla sadə şəkildə statisonarlığı təmin etmək olar. Lakin bu proses bəzən bir dəfə çıxma əməliyyatı ilə tamamlanmaya bilər. Bir zaman sırasında çıxma üsulu ilə stasionar vəziyyətə gətirildikdən sonra, ARIMA modelinin qurulmasında növbəti addım, stasionara çevrilmiş sırada avtokorrelyasiyanı düzəltmək üçün AR və ya MA dəyişənlərinə ehtiyac olub olmadığını müəyyən etməkdir (Horvath, Lajos və Remigijus Leipus, 2005). Bu məsələnin sistemli bir yolu var. Stasionara çevrilmiş sırada avtokorrelyasiya funksiyasına (ACF) və qismən avtokorrelyasiya (PACF) qrafiklərinə baxaraq, lazım olan AR və MA hissələrinin təxmini olaraq müəyyən etmək mümkündür. ACF, sadəcə bir zaman sırası ilə özünün bir əvvəlki elementləri arasındakı korrelyasiya əmsallarının qrafiki cədvəlidir. PACF isə sıranın özü və gecikmələri(lag) arasındakı kənar faktorlardan təmizlənmiş korrelyasiya əmsallarının cədvəlidir (George Box və Gwilym Jenkins, 1976).

Datanın ACF və PCF qrafiklərindən daha çox son 4 ilə qədərki dövrün proqnoz modellərində təsirli dəyişən ola biləcəyini görünmüşdür.

Diagram 4: ACF və PCF diagramları



Mənbə:https://www.stat.gov.az/source/transport/ əsasında müəllif tərəfindən hazırlanıb

Box-Jenkins modelləri də adlandırılan ARIMA modelləri, avtoreqressiv şərtləri, Sürüşkən Orta şərtləri və fərqləndirmə əməliyyatlarını ehtiva edə bilən modellərdir. Müxtəlif növlərə ayırmaq mümkündür (George Box and Gwilym Jenkins 1976).

Bir model yalnız avtoreqressiv şərtləri əhatə etdikdə, AR modeli adlandırıla bilər. Bir model yalnız hərəkətli orta şərtləri əhatə etdikdə, bir MA modeli adlandırıla bilər (Yadulla Həsənli, 2008). Gözlətmə şərtləri olmadıqda olmadıqda, ARMA modeli şəklində istifadə edilə bilər (Gesine Reinert, 2010).

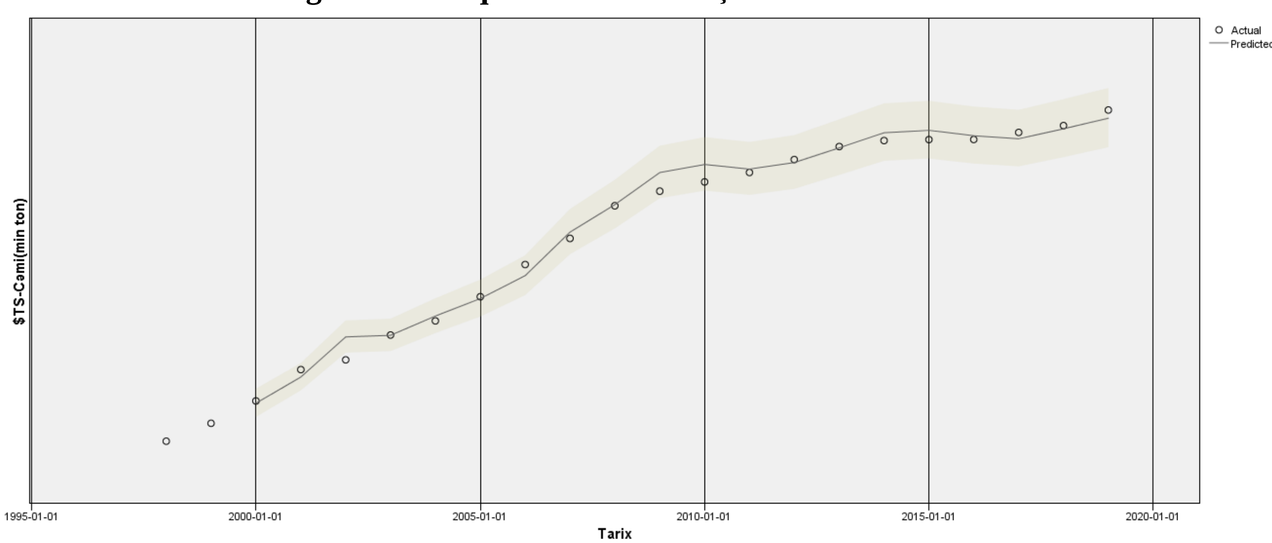
ARIMA, Avto Reqressiv İnteqrasiya olunmuş Sürüşkən Orta qısaltması əslində müəyyən bir zaman sırasının öz keçmiş dəyərlərinə, yəni öz gecikmələrinə(AR) və gecikmiş proqnoz səhvlərinə (MA) əsaslanaraq proqnoz edən bir model sinifidir

(Horvath, Lajos and Remigijus Leipus, 2005). Beləliklə ARIMA nəticəsində alınan tənlikdən gələcək dəyərləri proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilər (Jamal Fattah, Latifa Ezzine, Zineb Aman,Haj El Moussami, and Abdeslam Lachhab, 2018).

Müəyyən qanunauyğunluğa sahib və təsadüfi ağ küy olmayan hər hansı qeyri mövsümi zaman sırası ARIMA modelləri ilə modelləşdirilə bilər (William A. Young, Gary R. Weckman, Iman Ghalehkhondabi, Ehsan Ardjmand, 2019).

İlk model olaraq ARİMA modelindən istifadə edilmişdir. Modelimizin həqiqi nəticələrlə çox yerdə üst üstə düşməsi ümumi nöqtələri ifadə etdiyini göstərir, lakin bu overfitting problemi ilə bağlı ola bilər, ona görə də əlavə tədqiqata və digər modellərin yoxlanılmasına ehtiyac vardır.

Diagram 5: Proqnoz modeli və daşımaların real həcmi



Mənbə:https://www.stat.gov.az/source/transport/ əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

ARIMA Modellərinin sıraya uyğunlaşma dərəcəsini ölçmək üçün bir neçə göstəriciyə diqqət yetirmək lazımdır

ARIMA modelinin nəticələrinə ətraflı baxdıqda, R^2 göstəricisinin yüksək olduğunu, Lag1 dəyişəninin isə statistik olaraq əhəmiyyətli olduğunu görürük, Ljung Box Statistics (Greta M. Ljung, 1978) isə statistik olaraq əhəmiyyətsiz olaraq müəyyənləşdirilmişdir.

Diagram 6: ARIMA Modelinin statistik göstəriciləri

Parameter Estimates

				Coefficient	Std. Error	t	Significance
Cəmi(min ton)	Natural Log	AR	Lag 1	-0.527	0.193	-2.729	0.013

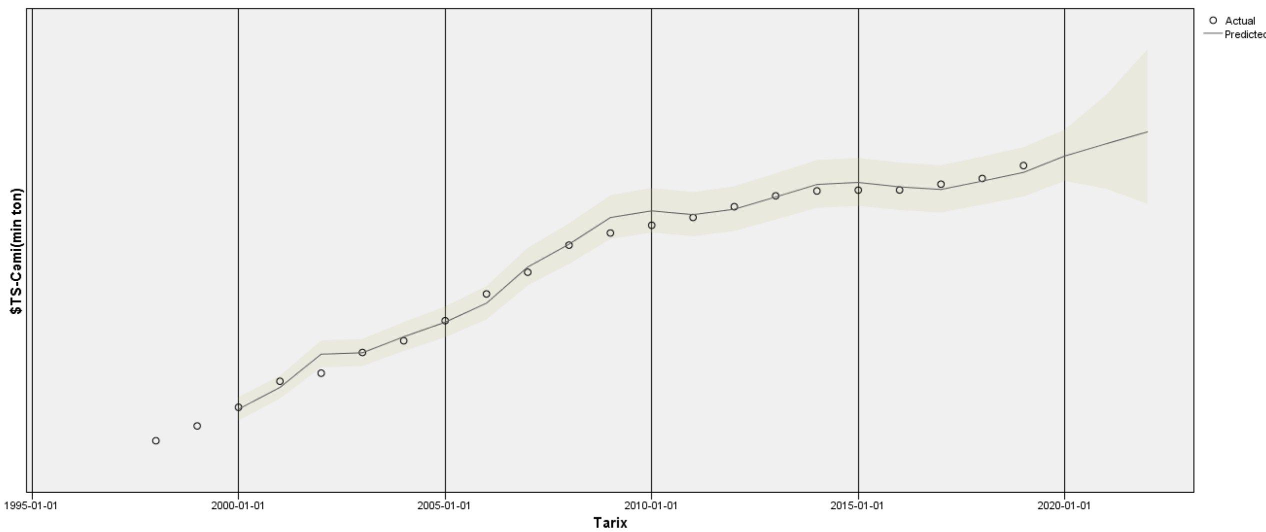
Model Information

Model Building Method		ARIMA
		Non-seasonal p=1,d=2,q=0; Seasonal p=0,d=0,q=0
Number of Predictors		0
Model Fit	MSE	26,215,135.453
	RMSE	5,120.072
	RMSPE	2.971
	MAE	3,769.025
	MAPE	2.042
	MAXAE	12,313.537
	MAXAPE	9.690
	AIC	342.611
	BIC	343.607
	R-Squared	0.990
	Stationary R-Squared	0.289
Ljung-Box Q(#)	Statistic	17.628
	df	17.0
	Significance	0.4

Mənbə:https://www.stat.gov.az/source/transport/ əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Əslində, Sürüşkən Orta modelinin müəyyən məhdudiyyətlərlə sonsuz gecikmələri olan avoreqressiv bir modelə bərabər olduğunu deyə bilərik. Qeyd olunanın tərsinə bir əlaqənin də mövcud olduğunu qeyd etmək lazımdır. Daha dəqiq desək, sadə bir Avtoreqressiv model, sonsuz gecikmə ilə Sürüşkən Orta ortalama modelinə yaxın bir şəkildə işləyir (Gesine Reinert, 2010). Eksponensial Hamarlaşma modelləri də qeyd olunan bu nümunə üçün yaxşı nəticə göstərir.

Diagram 7: Eksponensial Hamarlaşma Modellərinin statistik göstəriciləri



Mənbə:https://www.stat.gov.az/source/transport/ əsasında müəllif tərəfindən hazırlanmışdır

Nəqliyyat daşımaları adətən, bir dövlətdə, bölgədə və ya iki şəhər arasında makro əhatəli nəqliyyat tələbinə yönəldilir ki, bu da nəqliyyat tələbi münasibətlərinin aşkarlanmasına tədqiqat yanaşması təklif edir. Bu əlaqələr logistika şirkətləri üçün faydalıdır, lakin kifayət deyil. Özəl bir logistika şirkəti üçün bazar makroiqtisadi mühiti və nəqliyyat sənayesi mühitini, həmçinin öz bazar əməliyyat strategiyalarını (xidmət səviyyəsi, qiymət strategiyası və s.) önəm daşıyır. Bu səbəbdən bazara cəlb olunan fərdi bir şirkətin nəqliyyat tələbinin proqnozlaşdırılması, logistika şirkətinin bazar əməliyyatları barədə qərar qəbul etməsinə dəstək olacaqdır. Birinci model trend komponentini tutmaq üçün istifadə olunur, çünki şirkətin nəqliyyat tələbini təsir edən amillər makro nəqliyyat tələbinə təsir edənlərdən daha mürəkkəb və qeyri-müəyyəndir. Müşahidə olunan məlumatlar sırasında nəzərdə tutulan dövrlər seçilməzsə doğru olmayan modellər alına bilər, çünki iqtisadi dövrlə bağlı zaman sırasının xüsusiyytələri tam dəyişə bilər (George Box and Gwilym Jenkins, 1976). Qalıq düzəliş modeli əsas modelin etibarlılığını və doğruluğunu yaxşılaşdırmaq üçün istifadə olunur. Eyni model fərqli obyektlərə tətbiq edildikdə (yəni fərqli müşahidə edilmiş məlumatlar sırasına) qalıqlar yaranacaq, çünki hər bazarda meyllər, dövr uzunluğu və dalğalanma aralığı da daxil olmaqla fərqli təsir edən faktorlar və dəyişən qanunlar var. Təklif olunan model Azərbaycanda nəqliyyat daşınmalarına aid Statistika Komitəsinin məlumat sırası baxımından nümunə işində yaxşı uyğunlaşma göstərir. Modelin nəticəsi ilə real nəticə yaxın yerləşir. Gözlənilən zaman sırası, milli müharibədən yeni çıxmış Azərbaycanın 36 aylıq bir müddət ərzində (yanvar 2020 - dekabr 2022) yükdaşımalarının həcmini proqnozlamışdır. Proqnozlaşdırma nəticələri modelin makroiqtisadi mühitə yaxşı uyğunlaşdığını göstərir. Bundan əlavə model qurarkən həm birinci Dağlıq Qarabağ müharibəsindən həm də ikinci Dağlıq Qarabağ müharibəsindən sonrakı dövrlərdə müharibənin nəticəsinin təsirləri incələnmişdir. Ümumilikdə götürdükdə Azərbaycanda nəqliyyat daşımalarının həcmi son 20 ildə sabit bir trendlə artıma sahib olduğu üçün modelin nəticələrini və proqnoz dəyərlərini yaxın dövrlərçün qənaətbəxş hesab etmək olar.

NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR

Aparılmış təhlilərə əsasən deyə bilərik ki, son 20 il ərzində Azərbaycanda nəqliyyat daşınmalarının həcmi hər il orta hesabla 8.5 milyon ton artım qeydə alınır. Bunun əsas səbəbi kimi artıq Sovet birliyi dağıldıqdan sonra Nəqliyyatda yaranmış problemlərin aradan qalxması və Azərbaycanın qlobalaşmanın sürətlə getdiyi bir dövürdə xarici ölkələrlə ticarət dövriyyəsinin artması eləcə də Azərbaycanın transit ölkəyə çevrilməsi istiqamətində ölkəmizdə görülən işləri nümunə göstərmək olar. Bu sahədə göstərilmiş xidmətlərin dəyərində 2000 –ci illə müqayisədə 2019-cı ildə 156 milyon tona yaxın mütləq artım qeydə alınmışdır.

2000 və 2019- ci illə də nəqliyyat sektorunda müxtəlif nəqliyyat növləri üzrə bir sərnişinin ortalama daşınma məsafələri incələnmişdir, bütün nəqliyyat növləri üzrə bir sərnişinin ortalama daşınma məsafəsi 16.5 km təşkil etmişdir. Qeyd etdiyimiz statistik göstərici Hava nəqliyyatında 1756 km, Dəniz nəqliyyatında 427 km, Dəmiryolu nəqliyyatında 141 km, taksilər üzrə isə 21.6 km təşkil etmişdir.

Tədqiqat işində təhlil edilən nəzəri metodik müddəalar və təhlilər ölkə ərazisində nəqliyyat planlaşdırma işlərində eləcədə proqnozlaşdırma yönümündə geniş istifadə etmək olar. Daşımaların yeni metodologiyalar ilə təmin etməsi bir müəssisəyə gəliri artırmaq və böyüməyə təşviq imkanları yaradır. Həmçinin,dissertasiya işində təklif edilən metodolgiyaya əsasən, riyazi üsullarla müəsisələrin effektivliyinə və məhsuldarlığına əhəmiyyətli dərəcədə təkan verə bilər. Çünki qeyd edilən üsullar daşıma ilə məşğul olan təşkilatlara demək olar ki, istənilən yerdən çox geniş miqyaslı daşımaları optimal şəkildə yerinə yetirməyə imkan verir.

Özəl biznes sahələrində əsasən də, ağır sənayedə fəliyyət göstərən kiçik və orta sahibkarlıq müəssisələri nəqliyyatın optimal bölgüsü ilə bağlı çox az tətbiqlər etmişlər. Kiçik və orta sahibkarlıq subyektərində yeni nəqliyyat idarətmə metodlarında məhdudiyyət yaradan başlıca səbəblədən biridə işçilərin əksəriyyətinin bu metodlardan istifadə bacarığının aşağı olmasıdır. Bəzi böyük logistika şirkətlərin rəhbər işçiləri arasında da ümumi təhsil səviyyəsinin aşağı olduğu müşahidə olunur və bu sahədə təhsil səviyyəsi müəssisələrin digər tələbləri ilə tam uzlaşmır. Buna görə də bu tip yükdaşıma ilə geniş məşğul olan müəssisələrdə yeni metodologiya, riyazi üsullar sahəsində bilik və bacarıqların artırılması onların davamlı inkişafına kömək edəcək. Əgər bu müəssisələr yeni idarəetmə metodologiyalarına yatırdıqları investisiyaları düzgün istiqamətləndirsələr böyümə və müvəffəqiyyət hər zamankindən daha asan olacaqdır. İşlərinin xüsusi ehtiyacları və problemlərinə uyğun doğru həll yolları tapmaq riyazi metodologiyaların köməyi ilə daha səmərəlidir. Optimal nəticələr əldə etmək üçün mobil texnologiyalardan istifadə etməklə nəqliyyat idarəetmə sistemləri daha da təkmilləşdirilə bilər. Bu texnoloji həllər nəqliyyatın riyazi metodlarla optimallaşdırılması halında ikiqat fayda gətirəcəkdi. Optimallaşdırmada Texnologiyadan geniş istifadə əlavə üstünlüklər də yaradır ki, bunların bizneslərə gətirdiyi dəyərlər danılmazdır.

Effektiv bir nəqliyyat idarəetmə siyasətinin bir şirkətin müştəri ilə əlaqə sürətini artıra bilər və tez-xarabolan, sürətli çatdırması zəruri olan məhsullar bazarlarında şirkətin üstünlük qazanmasına səbəb ola bilər. Şirkətlər yalnız cari satış səylərini artırmaq üçün deyil, bütün satış fəaliyyətləri üçün əsas vasitə kimi uğurlu nəqliyyat fəaliyyətinin təmin edilməsində ciddi fokuslanmağa ehtiyac duyurlar. Nəqliyyatın optimallaşdırılması təkcə müştəri baxımdan deyil, şirkətin maliyyə baxımından da irəliləməsində mühüm rol oynayır. Optimal nəqliyyat bölgüsünü təmin etmək üçün şirkətlər br neçə xüsusi mərhələlərdən keçməlidirlər. İlk addım bir qədər əvvəl qeyd edildiyi kimi riyazi problemi qoymaq üçün məlumat bazasının qurulması və lazımı məlumatların axımının təmin edilməsidir. Növbəti addım, qurulmuş nəqliyyat modellərinin test edilməsi, onların çatışmayan tərəflərinin müəyyənləşdirilməsidir. Ən son mərhələ olaraq qurulmuş modellərin birbaşa daşımalara tətbiq edilməsi və prosesin monitorinqidir.

Aparılmış tədqiqat işində bu nəticələrə gəlmək olar ki, Nəqliyyatla bağlı məsələlərdə tam faydalanmaq və optimal bölgü təmin etmək üçün ən zəruri faktorlardan biri lazımı məlumatların vaxtında toplanması və onların doğru düzgün analiz olunmasıdır. İlkin mərhələdə sahibkarların optimal nəqliyyat bölgüsündən istifadəsinin genişləndirilməsi nəticəsində onların təsərrüfat fəaliyyətində məhsuldarlığın artması və daha rəqabətqabiliyyətli, sürətli çatdırılma ilə yeni bazarlara çıxışı vacib məqamlardandır.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

Azərbaycan Dilində

1. Avtomobil nəqliyyatı haqqında Azərbaycan Respublikasının Qanunu: 01.04.2008
2. Azərbaycan Respublikasında nəqliyyat sisteminin inkişafına dair Dövlət Proqramı (2006-2015-cu illər)
3. Bağırov F.(2009), "Ölkənin sosial-iqtisadi inkişafında nəqliyyatın rolunun yüksəldilməsi istiqamətləri", Bakı, s. 7-10
4. Həsənli Y.(2008), "Ekonometrikaya Giriş", Dərslik, Bakı, s.100-120
5. Həsənli Y., Orucov H., Vəliyev V.(2009), "Xətti cəbr və iqtisadi modellər", Dərslik, Bakı, s. 80-92
6. Yadigarov T.(2019), "Əməliyyatlar Tədqiqi və Ekonometrik məsələlərin MS Excel və Eviews Proqram paketlərində həlli: Nəzəriyyə və Praktika", Avropa nəşriyyatı, s. 45-80

İngilis dilində

1. Adulyasak, Y. and P. Jaillet.(2016), "Models and Algorithms for Stochastic and Robust Vehicle Routing with Deadlines", Transportation Science
2. Dimitri B. (1989) On probabilistic traveling salesman facility location problems, Transportation Science, 184-191
3. Figliozzi, M., Mahmassani H. and Jaillet P.(2007) "Pricing in Dynamic Vehicle Routing Problems". Transportation Science, 41, 302-318
4. George B. and Gwilym J. (1976), "Time Series Analysis: Forecasting and Control"
5. Gesine R. (2010), "Time Series"

6. Hillier F. and Lieberman G. (2014), "Introduction to Operations Research"
7. Hoogeboom, M., Adulyasak Y., Dullaert W., and Jaillet P.(2019) "Robust Vehicle Routing Problem with Time Window Assignments"
8. Horvath S., Lajos M. and Remigijus L. (2005), Effect of Aggregation On Estimators in AR(1) d
9. Iman G., Ehsan A., William A., Gary R.(2019), A review of demand forecasting models and methodological developments within tourism and passenger transportation industry
10. James M.(1957), Algorithms for the Assignment and Transportation Problems, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics
11. Kayacan E., Ulutas B. and Kaynak O. (2009), Grey system theory-based models in time series prediction
12. Klaus N. (2014), "Time Series Analysis in Economics"
13. Ljung G. (1978), On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models
14. Nahmias Steven (2005), "Production and Operations Analysis", 5th edition
15. Nicholas I. and Ravi S.(2009), Time Series Prediction Using Support Vector Machines
16. Priya D. and Ramesh G.(2019), The Hungarıan Method for the Assıgnment Problem, wıth Generalızed Interval Arıthmetıc and its Applıcatıons
17. Rajesh M., Surya S. and Murari M. (2010), "Traveling Salesman Problem:An Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches"
18. Taghrid I. and Gaber E.(2009), Solving Transportation Problem Using Object-Oriented Model, International Journal of Computer Science and Network Security
19. Taha A.(2006), ”Operations Research: An Introduction“, Prentice Hall, USA
20. Valenzuela O., Rojas I, Pomares H., Guilen A. (2007), Hybridization of intelligent techniques and ARIMA models for time series prediction

21. Yang J., Jaillet P. and Mahmassani H. "Real-Time Multi-Vehicle Truckload Pick-Up and Delivery Problem". Transportation Science, 38, 135-148, 2004
22. Zhou J. and Dai S.(2012), Urban and Metropolitan Freight Transportation: A Quick Review of Existing Models
23. Zsuzsanna H. and Ryan J.(2008), “Time Series Process”

İnternet Resursları

1. http://www.e-qanun.az/ - Azərbaycan Respublikasının Ədliyyə Nazirliyi Hüquqi aktların vahid elektron bazası
2. https://mincom.gov.az/az/- Azərbaycan Respublikası Nəqliyyat və Yüksək Texnologiyalar Naziliyi
3. https://www.e-g- ov.az/ - Elektron Hökümət portalı
4. https://www.itu.int/ru/Pages/default.aspx- Beynəlxalq Telekommunikasiya İttifaqı
5. https://www.mit.edu/ - Massaçuses Texnalogiyalar Universtitetinin rəsmi saytı
6. https://www.stat.gov.az/- Azərbaycan Dövlət Statistika Komitəsi
7. https://www.worldbank.org/en/home - Dünya Bankı

Cədvəllərin siyahısı

Qrafiklərin siyahısı